

道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成 果 報 告 レ ポ ー ト
N o . 2020-6

研究テーマ

走行中の電気自動車に連続的に無線給電を行う
道路の実用化システムの開発

研究代表者：大成建設株式会社
共同研究者：大成建設株式会社

大成ロテック株式会社	新藤 竹文 大黒 雅之, 遠藤 哲夫, 佐藤 大樹, 高橋 要, 加藤 崇, 崎原 孫周, 石島 透 加納 孝志, 久野 晃弘, 澤口 実, 唐木 健次, 渡部 敬史, 澁谷 昌弘, 豊橋技術科学大学 大平 孝, 阿部 晋士, 水谷 豊 株式会社デンソー 山田 隆弘
------------	---

令和 6 年 5 月

新道路技術会議

目次

研究概要.....	1
第1章 はじめに	3
1. 1 研究の背景・目的	3
1. 2 研究内容.....	3
1. 3 本研究の達成目標	5
第2章 国内・海外の既存研究状況	6
2. 1 磁界結合型無線給電.....	6
2. 2 電界結合型無線給電.....	7
2. 3 磁界結合方式と電界結合方式の比較結果	8
第3章 無線給電道路システムの体系化技術の開発に向けた検討.....	10
3. 1 無線給電道路システムの伝送効率検討.....	10
3. 2 送受電システムの試作	12
3. 3 進相コンデンサによる定在波抑制実験.....	12
3. 4 非走行条件における無線給電実験	13
3. 5 走行中車両への無線給電実験	15
第4章 舗装材料・構造の検討および施工技術の開発.....	16
4. 1 無線給電道路の舗装材料・舗装構造の検討.....	16
4. 2 無線給電道路の試験施工	19
4. 3 無線給電道路の舗装強度の検討.....	24
4. 4 無線給電道路の設計手法の構築.....	27
4. 5 無線給電道路の維持管理手法の検討	30
4. 6 コストダウンに関する検討.....	31
4. 7 無線給電道路の設計・施工・維持管理に関する基本仕様の整理	33
第5章 路車連携による給電制御技術の開発に向けた検討	35
5. 1 給電制御システムの概要	35
5. 2 路車連携による給電制御実験	36
第6章 漏えい電磁界抑制・対策技術開発に向けた検討	37
6. 1 近傍電磁界に関する検討	37
6. 2 放射妨害波に関する検討	38
6. 3 走行中給電時の放射妨害波測定.....	39
第7章 設計・施工・維持管理ガイドライン（案）	41
7. 1 基本構造.....	41
7. 2 材料仕様.....	41

7. 3 各種材料の配合	43
7. 4 設計方法	43
7. 5 施工方法	45
7. 6 維持管理方法	46
第8章 研究の成果と課題	48
8. 1 研究成果	48
8. 2 今後の課題	48
8. 3 研究成果の道路行政への反映	49
参考文献	50
付録 無線給電道路の設計・施工・維持管理ガイドライン（案）	

「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」（令和 3 年度採択） 研究概要

番号	研究課題名	研究代表者
No.2020-6	走行中の電気自動車に連続的に無線給電を行う道路の実用化システムの開発	大成建設株式会社 栄誉研究員 新藤 竹文

本委託研究は、電界結合方式を基幹とする、高効率で汎用性に優れた、大型車両が通行する高速道路への適用が可能な無線給電道路システムを実現することを目的として、既往の検討からの給電効率の向上や送電を自動制御する路車連携システムの検討を含むシステム全体の概念設計や、高速道路等で求められる耐久性を満足する舗装構造の設計を行った。その後、無線給電道路の試験道路を施工し、走行する車両に対する 10kW 級無線給電実験や舗装の構造調査等を行い、設計の妥当性を検証した。さらに、社会実装に向けて、無線給電システムから放射する電磁界に対する安全対策を踏まえた基本仕様を整理するとともに、本研究で得られた知見をとりまとめ、舗装の設計・施工・維持管理手法に関するガイドライン(案)を作成した。

1. 研究の背景や動機、目的および目標等

電界結合方式による無線給電道路システムの先行研究として、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 SCOPE において、10m の直線路を屋外に施工し、時速 10km 以下で走行する小型車両（車重 500 kg 程度）に対して送電電力 3kW による無線給電走行に成功し、本システムの基本技術を確認した。ただし、舗装内に水が滞留した場合の伝送効率の低下に対する対策、および、より大型車両の走行に耐え得る舗装構造への改良が課題であった。本研究では、防水および排水機能を強化することで伝送効率 70% を実現し、走行中の車両に送電電力 10kW を連続給電可能な道路の開発に向けての検討を行った。加えて、大型車両が通行する高速道路へ適用するため、無線給電道路の疲労耐久性の目標値を輪荷重 5 トン、交通量区分 N7（疲労破壊輪数：3,500 万回/10 年）とした舗装材料・構造を検討し、延長 20m の無線給電道路の試験施工を行った。

2. 研究内容

本委託研究の全体像を図-1 に示す。以下の 4 課題に取り組み、舗装材料・構造設計・施工・維持管理および電磁界への安全対策に関する基本仕様を整理し、社会実装に向けたガイドライン(案)を作成した。

(1) 無線給電道路システムの体系化技術の開発に向けた検討

10kW 送電可能な無線給電道路システムおよび走行する車両（非 EV 車）のトレーラに受電装置を搭載し、走行中無線給電実験を行った。

(2) 舗装材料・構造の検討および施工技術の開発

輪荷重 5 トンで交通量区分 N7（3,500 万回/10 年）を目標とした舗装構造を設計し、延長 20m の無線給電道路を試験施工した。また、無線給電道路の疲労耐久性、維持管理、リサイクル性について検証し、構造設計手法および舗装材料・構造設計手法・施工

手法・維持管理手法に関する基本仕様を整理した。

(3) 路車連携による給電制御技術の開発に向けた検討

道路から得られる情報を車両側で検知し、送電システムの電源の ON/OFF を制御するシステムを開発した。さらに、試作機を無線給電道路システムに実装し走行中無線給電への適用可能性を検討した。

(4) 漏えい電磁界抑制・対策技術開発に向けた検討

無線給電実験時の漏えい電磁界を測定し、運転者及び歩行者への影響および他の無線システムへの干渉など電波法への適合可能性を評価した。また、安全対策を踏まえた基本仕様を整理した。

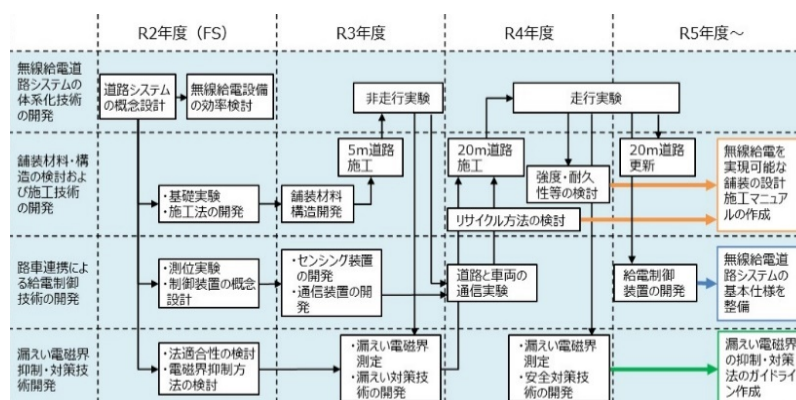


図-1 研究の全体像

3. 研究成果

- (1) 時速 20km で走行する車両に対して、最大 62.7%、平均 58.1%の伝送効率で連続して無線給電できることを確認し、課題を整理した。
- (2) 大型車が通行する高速道路へ適用可能な舗装構造を開発し、長さ 20m の無線給電道路を施工した。無線給電道路の各施工段階において標準的な作業手順を整理し、基本仕様としてガイドライン(案)に反映した。また、施工した無線給電道路の強度・耐久性を検証し 5 トン換算輪数 33,494 輪/1 方向における、舗装体支持力や路面性状の低下がないことを確認した。さらに、無線給電道路の構造設計法として、多層弾性理論に基づく設計方法について 3 次元 FEM との比較検討を実施し、実用化に向けての課題を整理した。
- (3) 道路に埋設した磁石を車両側センサで検知し送電システムを自動で ON/OFF する制御プログラムを開発し、時速 20km の走行中給電実験において機能を検証した。
- (4) 漏えい電磁界対策を検討し、トレーラ上の電界強度および磁界強度は人体安全性の指針値以下(管理環境)となることを確認した。また、放射妨害波を測定し電波法への適合可能性を確認した。さらに、基本仕様を整理してガイドライン(案)に反映した。



図-2 送電電極施工



図-3 走行中給電実験

4. 主な発表論文

- 1) Sonshu Sakihara, Tetsuo Endo, Takefumi Shindo, Masakazu Jomoto, Minoru Mizutani and Takashi Ohira, "A Demonstration of Wireless Power Transfer Roadway System based on Electric Field Coupling", The 6th International Electric Vehicle Technology Conference, no.20231059, Yokohama, May 2023.
 - 2) 水谷 豊, 横野翔勇, 大平 孝, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 崎原孫周, 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, “電界方式無線給電道路の実用化システムその 1: 電界方式の無線給電道路への適用”, 第 34 回日本道路会議, Tokyo, Nov. 2021.
 - 3) 遠藤哲夫, 崎原孫周, 新藤竹文, 水谷 豊, 大平 孝, 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, “電界方式無線給電道路の実用化システムその 2: 電界結合方式による無線給電道路システム”, 第 34 回日本道路会議, Tokyo, Nov. 2021.
- 他、口頭発表・シンポジウム 6 件、特許出願 3 件、ニュースリリース 1 件(新聞 3 社掲載)、雑誌 3 件

5. 今後の展望

- ・本研究で試験施工した無線給電道路は平均伝送効率が 60%程度であり、事業化に向けてはさらなる効率向上が必要だと考える。今後、効率向上を目指して、舗装材料や舗装構造を改良した無線給電道路を開発するとともに、EV の改良にも取り組み、EV 改造車の走行中無線給電の実証へ発展させる予定である。
- ・大型車が通行する高速道路へ適用可能な舗装構造を実装するためには、より実用条件に即した道路での強度・耐久性を検証することが課題である。今後、本研究成果を活用した実大型車が高速走行可能な実証フィールドを整備し、より実道に近い条件で強度・耐久性などの各種性能を評価する予定である。
- ・本研究では多層弾性理論による構造評価を設計方法の基本としたが、有限要素法による評価結果との比較において、各層の弾性係数に差異が確認された。今後、各層の境界条件の設定について再検討し、多層弾性理論に基づく設計方法の精度を高めることで、TA 法に相当する構造設計法を確立する予定である。

6. 道路政策の質の向上への寄与

現在、内閣府 SIP3「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」の研究プロジェクトに参画し、EV 充電装置のワイヤレス化による EV の普及促進に向けた研究開発を推進している。また、本研究成果の実装への反映の一環として、大成建設グループの重点施設である次世代道路テストコースへの実装と高速走行実証、さらには国土交通省の新技术導入促進計画への積極的な提案を図る予定である。これら実装に向けた取組みを強化することで、将来の低炭素化社会の実現に貢献する道路の実現に寄与できると考えている。

7. ホームページ等

https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2022/220921_8962.html

第1章 はじめに

1.1 研究の背景・目的

現在、我が国の道路交通を巡り、高齢者などの移動弱者の移動手段確保、物流需要が増大するなかでの運転者不足が社会的な課題となっている。課題解決の鍵になるのが AI・IoT を活用したモビリティサービスの高度化と自動運転技術の融合であり、官民が一体となった検討が進められている（官民データ活用推進戦略会議「官民 ITS 構想・ロードマップ 2019」）。

本研究では、上記構想の実現に向け、パーソナルモビリティ、電気自動車（EV）などの次世代モビリティに電力を供給するため高効率で汎用性に優れた無線給電道路システムの実現を目的とする。図-1.1 に本研究の道路システムの将来イメージを示す。道路を高速で走行する電気自動車（EV）に非接触で連続して電力を供給する事で、自動運転技術を導入した次世代モビリティを支える電力供給プラットフォームとして道路に新たな価値を創造する。

本研究で開発した無線給電道路システムは、電界結合方式を基幹としており、道路を高速で走行する電気自動車（EV）に非接触で連続して電力を供給することを特徴としている。電界結合方式は、他の無線給電方式に比べて漏えい電磁界が少ないため安全性に優れ、かつ公道で利用する舗装材料・構造により無線給電が実現できるため実用的な無線給電システムを提供できることが期待できる。

電界結合方式による無線給電道路システムの基本構成を図-1.2に示す。無線給電道路システムは、非接触で道路からEVへ電気を供給するための「無線給電設備」及び電氣的に低損失な材料を用いて表層、送電電極、基層を形成した「舗装材料・構造」によって構成される。

大成建設及び豊橋技術科学大学は、総務省戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE、2013～2015 年度）において、屋外に施工した長さ 10m の試験路にて、時速 10km で走行する小型車両（車重 500 kg 程度）に対して送電電力 3kW による無線給電走行に成功し、本システムの適用性を実証するとともに、その基本技術を確立した。実証実験の様子を図-1.3 に

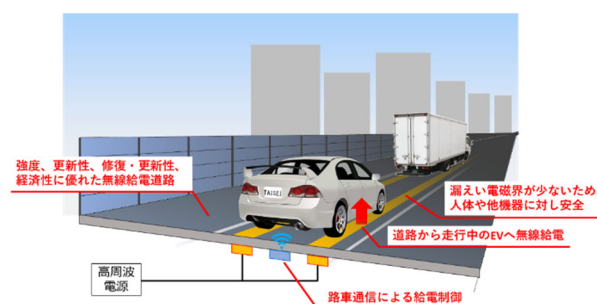


図-1.1 本道路システムの将来イメージ

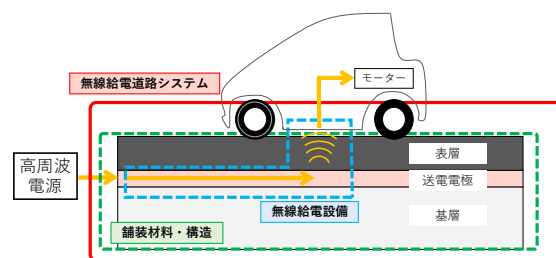


図-1.2 電界結合方式による無線給電道路の構成

示す。ただし、舗装内に水が滞留した場合の伝送効率の低下に対する対策、および、より大型車両の走行に耐え得る舗装構造への改良が、今後の検討課題として残された。

このような背景を踏まえて、本研究では、防水および排水機能を有した舗装構成に改良することで既往の検討から伝送効率を向上し、高効率で汎用性に優れた、大型車両が通行する高速道路への適用が可能な無線給電道路システムを実現することを目的とした。

1.2 研究内容

本委託研究は、給電効率の向上や送電を自動制御する路車連携システムの検討を含むシステム全体の概念設計や、高速道路等で求められる耐久性を満足する舗装構造の設計を行った。その後、無線給電道路の試験道路を施工し、走行する車両に対する10kW級無線給電実験や舗装の構造調査等を行い、設計の妥当性を検証した。さらに、社会実装に向けて、無



① 上層路盤及び送電電極



② 表層アスファルト施工



③ 走行中給電実験

図-1.3 SCOPE において敷設及び実証実験を行った無線給電道路システム

線給電システムから放射する電磁界に対する安全対策を踏まえた基本仕様を整理するとともに、本研究で得られた知見をとりまとめ、舗装の設計・施工・維持管理手法に関するガイドライン(案)を作成した。本委託研究の全体像を図-1.4に示す。以下の4課題に取り組んだ。

(1) 無線給電道路システムの体系化技術の開発に向けた検討

10kW 送電可能な無線給電道路システムおよび走行する車両（非 EV 車）のトレーラに受電装置を試作し、走行中無線給電実験を行った。

(2) 舗装材料・構造の検討および施工技術の開発

輪荷重 5 トンで交通量区分 N7 (3, 500 万回/10 年) を目標とした舗装構成を検討し、延長 20m の無線給電道路を試験施工する。また、無線給電道路の疲労耐久性、維持管理、リサイクル性について検証し、構造設計手法および舗装材料・構造設計手法・施工法・維持管理法に関するガイドライン（案）を作成した。

(3) 路車連携による給電制御技術の開発に向けた検討

道路から得られる情報を車両側で検知し、送電システムの電源の ON/OFF を制御するシステムを開発する。さらに、試作機を無線給電道路システムに実装し走行中無線給電への適用可能性を検討した。

(4) 漏えい電磁界抑制・対策技術開発に向けた検討

無線給電実験時の漏えい電磁界を測定し、運転者及び歩行者への影響および他の無線システムへの干渉など電波法への適合可能性を評価する。また、安全対策を踏まえた基本仕様を整理した。

本研究における開発体制を図-1.5 に示す。大成建設は、無線給電道路システムの体系化技術の開発、路車連携による給電制御技術の開発および漏えい電磁界抑制対策技術の開発を実施する。大成ロテックは、舗装材料・構造および施工技術の開発を実施する。豊橋技術科学大学は、無線給電道路システムの体系化技術の開発において、無線給電設備に関する技術開発を実施する。さらに、漏えい電磁界抑制対策技術の開発を大成建設と共同で実施する。デンソーは高周波電源の無線給電道路への適用検討を行った。

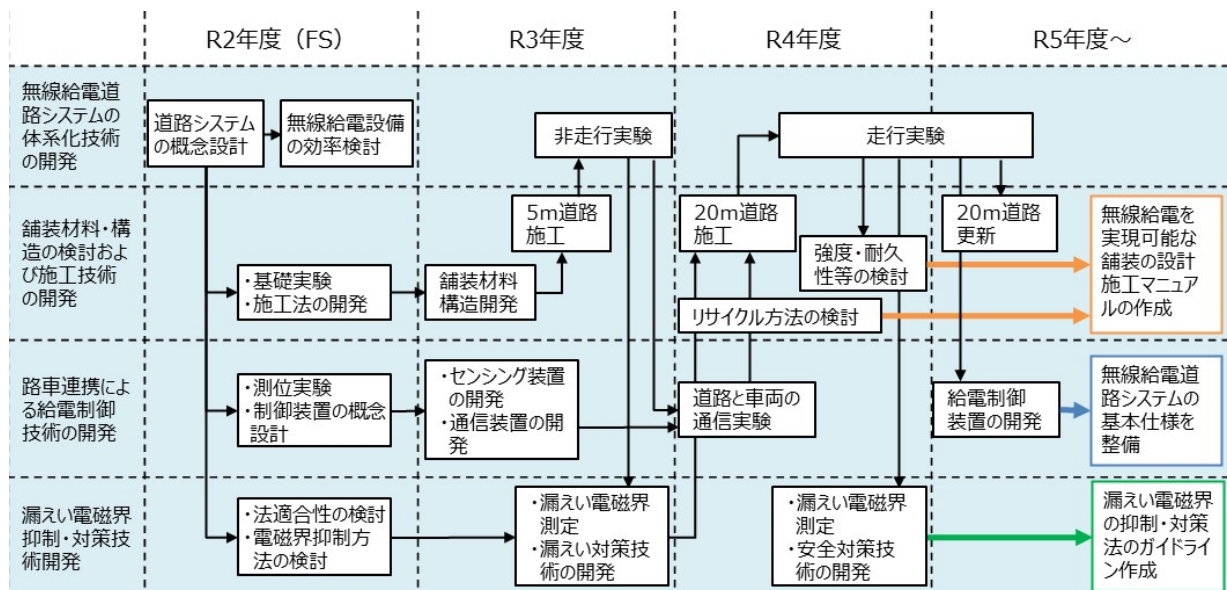


図-1.4 研究の全体像

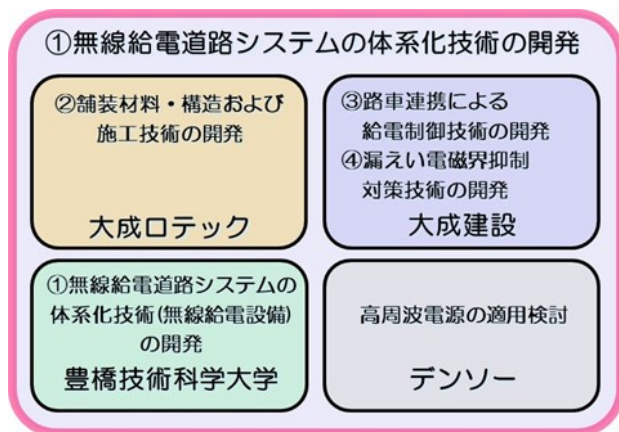


図-1.5 本研究の開発体制

1.3 本研究の達成目標

本研究の各年度の達成目標と位置付けを纏めた計画フローを図-1.6 に示す。

令和2年度（FS研究）は、無線給電道路システムの概念設計および実験室レベルでの物性試験等を行い道路空間への適用可能性について整理した。また、無線給電道路システムにより生じる漏えい電磁界についてシミュレーションを行い、法適合性の検討および漏えい電磁界対策について検討した。

令和3年度は、大型車両の走行（交通区分N7）を満足する舗装断面を選定し5m長の無線給電道路システムを試験施工する。また、非走行条件において5kW送電、3.5kW受電（伝送効率70%）の達成を目標とした無線給電実験を実施する。さらに、無線給

電実験の際に放射される漏えい電磁界を実測し、電波防護指針および放射妨害波に対する検証を行う。

令和4年度は、令和3年度に得られた研究成果を発展させた舗装断面を選定し20m長の無線給電道路システムを試験施工し、舗装を構成する各層の一体性、排水性能、舗装耐力、走行性（平滑性）維持管理（更新）性を検証する。また、無線給電の受電装置を搭載した模擬車両（トレーラ）を試作し非走行条件において5kW送電、3.5kW受電（伝送効率70%）の達成を目標とした無線給電実験を実施する。さらにトレーラを非EV車で牽引し走行中無線給電の実現可能性を検証する。走行中無線給電では道路に埋設した磁気マーカの情報を車両側の磁気センサ検知し送電システムの電源のON/OFFを制御するシステムを試作し適用可能性を検討する。また、無線給電実験時の漏えい電磁界を測定し、運転者及び歩行者への影響および他の無線システムへの干渉など電波法への適用可能性を評価する。

令和5年度は、伝送効率を向上させるために改良した無線給電道路を試験施工し10kW送電、7kW受電（伝送効率70%）の達成を目標とした無線給電実験を実施する。また、無線給電制御システムを送受電システムに実装し、時速20kmで走行するトレーラへの自動無線給電の適用可能性を検証する。さらに、無線給電道路の社会実装に向けて、無線給電システムから放射する電磁界に対する安全対策を踏まえた基本仕様の整理、および、舗装材料・構造設計手法・施工法・維持管理手法に関する標準化を図り、体系的なガイドライン（案）として整備する。

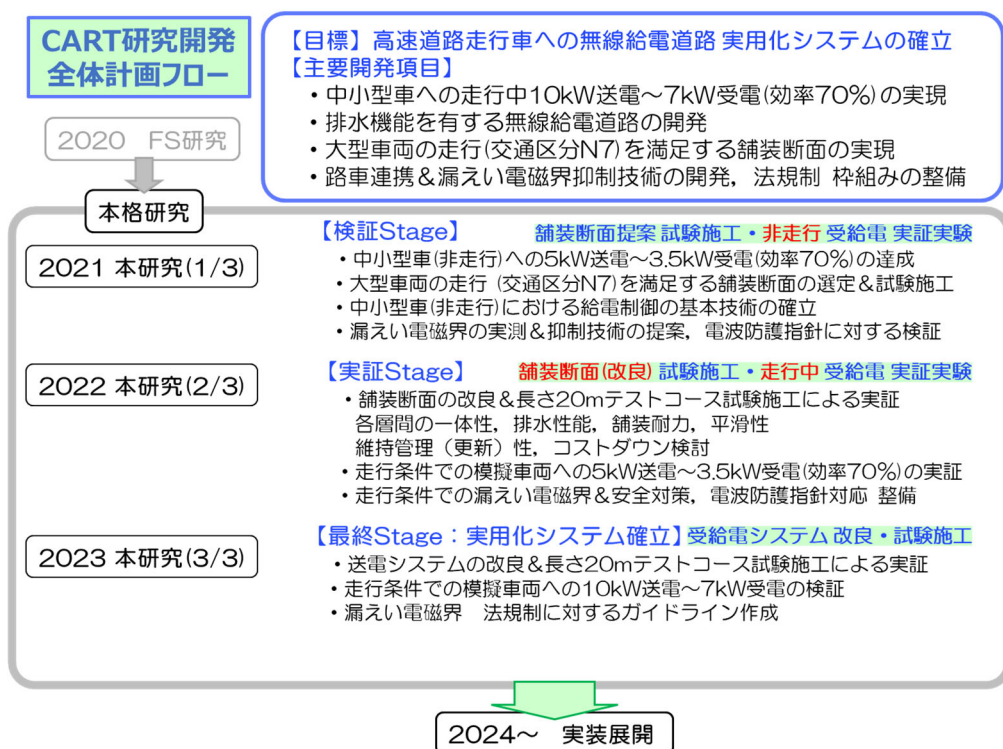


図-1.6 本研究の全体計画フロー

第2章 国内・海外の既存研究状況

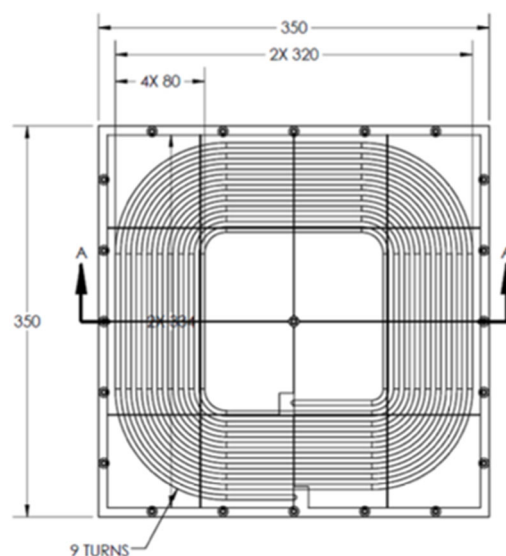
2.1 磁界結合型無線給電

(1) 磁界結合方式による停車中無線給電

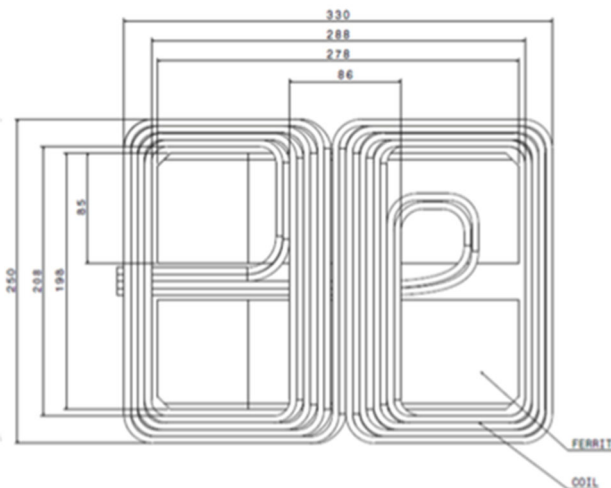
EV 用停車中無線充電は国際電気標準会議 (IEC), 国際標準化機構 (ISO), アメリカ自動車協会 (SAE) などの複数の機関で国内・国際協調のもと標準化が進められている¹⁾。その中でも SAE は規格文書 J2954²⁾にて, 無線給電における設計や評価方法が記載された推奨ガイドラインを発行している。最新の論文の中にも J2954 を参照している文献も多い^{3)~7)}。つまり J2954 について詳しく見ることで磁界結合方式停車中無線充電の概要を知ることができる。本項は J2954 記載の送受電距離, 電力, コイル寸法, 効率, 漏えい電磁界規制値について述べる。

J2954-2020 において送受電距離は地面から受電側コイルユニットのギャップとして定義され, Z1 : 100mm~150mm, Z2 : 100 mm~210 mm, Z3 : 100 mm~250 mm の 3 つのクラスに分類される。電力は AC 入力電力で定義され, WPT1 : 3.7 kVA, WPT2 : 7.7 kVA, WPT3 : 11 kVA の 3 つのクラスに分類される。さらに, コイルの種類は図-2.1 のような円形コイルと DD 形コイルの 2 種類がある。上記クラス分けとコイル種類による送電コイルテストユニット, 受電コイルテストユニットの寸法を表-2.1~表-2.4 にまとめた。

J2954-2020 における効率は配電網 AC~車載 DC 出力 (HV バッテリ) 間で定義されている。表-2.5 に効率の要求値を示す。また, 効率と受電コイルの位置ずれ許容値について関係がある。表-2.6 に位置ずれ許容値を示す。定位置は送電コイルと受電コイルが中心位置であることを示す。このとき, 効率は電力クラスによって異なるが, 80%~85%以上が要求される。位置ずれ時の効率は 75%~80%以上が要求される。



(a) 円形受電コイルユニット



(b) DD 形受電コイルユニット

図-2.1 磁界共鳴停車中充電コイルユニット²⁾

表-2.1 円形送電コイルユニット寸法²⁾

	WPT1 (3.3 kVA)	WPT2 (7.7 kVA)	WPT3 (11 kVA)
Z1, Z2, Z3	記載なし	750 mm×600 mm×60 mm	750 mm×600 mm×60 mm

表-2.2 円形受電コイルユニット寸法²⁾

	WPT1 (3.3 kVA)	WPT2 (7.7 kVA)	WPT3 (11 kVA)
Z1(100mm～150 mm)	295 mm 角×19.8 mm 厚	355 mm 角×19.8 mm 厚	435 mm 角×20 mm 厚
Z2(100mm～210 mm)	280 mm 角×20 mm 厚	350 mm 角×20 mm 厚	420 mm 角×20 mm 厚
Z3(100mm～250 mm)	300 mm 角×20 mm 厚	350 mm 角×20 mm 厚	420 mm 角×20 mm 厚

表-2.3 DD形送電コイルユニット寸法²⁾

	WPT1 (3.3 kVA)	WPT2 (7.7 kVA)	WPT3 (11 kVA)
Z1, Z2, Z3	記載なし	657 mm×670 mm×65 mm	657 mm×670 mm×65 mm

表-2.4 DD形受電コイルユニット寸法²⁾

	WPT1 (3.3 kVA)	WPT2 (7.7 kVA)	WPT3 (11 kVA)
Z1(100mm～150 mm)	記載なし	250 mm×260 mm×20 mm	302 mm 角×20 mm 厚
Z2(100mm～210 mm)	記載なし	340 mm×260 mm×20 mm	438mm×302 mm×20 mm
Z3(100mm～250 mm)	記載なし	400 mm×360 mm×20 mm	449mm×442 mm×20 mm

表-2.5 AC-DC 効率の要求値²⁾

	定位置	位置ずれ時
WPT1 (3.3 kVA)	80 %以上	75 %以上
WPT2 (7.7 kVA)	82 %以上	77 %以上
WPT3 (11 kVA)	85 %以上	80 %以上

表-2.6 位置ずれ許容値²⁾

	位置ずれ許容値
X (進行方向)	±75 mm
Y (横ずれ方向)	±100 mm

(2) 磁界結合方式による走行中無線給電

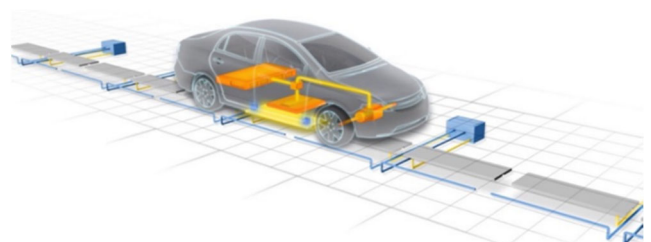
EV への走行中無線給電の最初の実証実験は 1980 年代に米国で行われた PATH (Partners for Advanced Transit and Highway) プロジェクトまで遡る^{9) 10)}。上記プロジェクトでは、図-2.2 のように道路に 200 フィート (約 61 m) の送電コイルを埋設し、EV 搭載の受電コイルに送電する仕組みであった。しかし、共振回路による力率補償が不十分であったことや ICNIRP に定める漏えい磁界規格値に対して許容できるレベルでなかったため、実用化には至らなかった。特に車体が存在しない道路上において非常に大きい漏えい磁界があった。

現在、国内では東京大学や東京理科大学が、海外では IPT 社、Electreon 社、KAIST (韓国科学技術院) 等が積極的に走行中磁界共鳴無線給電に取り組んでいる^{11)~16)}。電力クラスは 20kW～200kW 程度までの実証実験がなされている。多くの機関は図-2.3 のように車体より短い長さの複数の送電コイルを地中埋

設もしくは地面に設置し、区間ごとにスイッチング制御により切り替え、走行している車体の下にある送電コイルだけを通电するシステムを採用している。



図-2.2 PATH プロジェクトでの送電コイル埋設施工の

図-2.3 磁界共鳴方式走行中無線給電のイメージ図¹⁴⁾

2.2 電界結合型無線給電

(1) 電界結合方式による停車中無線給電

古河電工は、電界結合方式を基幹とした EV への停車中給電実験を 2019 年に公開した¹⁷⁾。実験状況を図-2.4 に示す。伝送周波数 13.56MHz、エアギャップ 95mm、出力 4.7kW において停車条件 EV への無線給電



図-2.4 小型 EV への電界結合 WPT 実験風景¹⁸⁾

に成功している¹⁸⁾。

海外では米国のコーネル大学およびサンディエゴ大学等が EV への無線給電に関する基礎研究を実施している。コーネル大学は図-2.5 のように 150 cm² サイズの送受電電極（計 4 枚）を使用し、エアギャップ 120mm において 884 W 送電に成功している^{19)~21)}。この実験では伝送周波数 13.56MHz を使用し、効率 91.3 % を達成している^{19) 20)}。また、サンディエゴ大学は 610mm×610mm の送受電電極（計 4 枚）を使用し、エアギャップ 150mm において 2.4 kW 送電に成功している²¹⁾。この実験では伝送周波数 1MHz を使用し、効率 90.7 % を達成している。いずれも電界結合方式を利用した EV への無線給電を対象としているが、舗装構造についての検討は行われていない。

さらに、国内では工場用搬送ロボット、掃除用ロボット、ドローン等の機器を対象に、電界結合無線給電方式の標準化が進められている²²⁾。周波数は 6.78 MHz 帯、送電電力は 4kW 以下という仕様である。

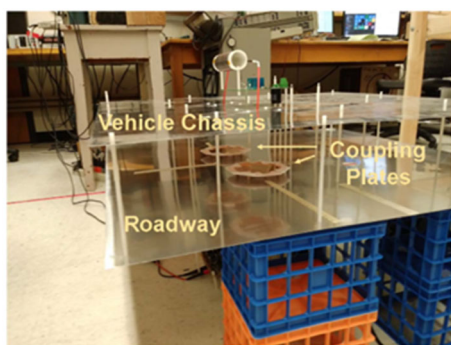


図-2.5 電界結合 WPT 実験風景²⁰⁾

(2) 電界結合方式による走行中無線給電

電界結合方式を利用した EV への走行中無線給電技術の研究開発は、我々のグループが先行して取り組んでいる^{23)~26)}。また、停車中と同じく米国のサンディエゴ大学、シンガポールの南洋理工大学等が研究開発に取り組んでいる^{27)~29)}。いずれもシミュレーションまたは研究室の実験レベルであり実用化に至っていない。

2.3 磁界結合方式と電界結合方式の比較

磁界結合方式における停車中無線給電技術は、国内および国際標準化規格がすでに策定されており、事業化が検討されている。

一方、走行中給電については、停車中給電とは異なり、漏えい電磁界に関する対策が実用化の課題となっている。

磁界結合方式は効率向上および漏えい電磁界対策のために、車体にフェライトを搭載することが一般的である。しかし、フェライト重量で車体が重くなり、コストアップにつながるものが課題である。漏えい磁界の振る舞いは車体が送電コイル上に存在する場合としない場合で原理的に大きく異なる。図-2.6 にその様子を示す。車体が送電コイル上に存在する場合は、車体によって道路に対して上方向の漏えい磁界が抑制される。しかしながら、車体が送電コイル上に存在しない場合は送電コイルから発生した磁界が上方向に発生し、漏えいする。前述の米国 PATH プロジェクトによってこの傾向が実験的に確認されている。上記漏えい磁界を抑制するために、送電コイルを短い区間にわけ、スイッチング制御で車体が送電コイル上を通るときのみ送電するシステムが考案、実験されてきた。これにより、車体が存在しない道路上の漏えい磁界の抑制を改善した。しかしながら、離散的に送電を行うため受電時間率が低くなる。そのため、走行中に必要な電力を給電するには、電源から瞬間的に大きな電力を出力する必要がある。したがって、車体が送電コイル上に存在する場合の漏えい磁界は停車中充電のときより増加する。さらに、瞬間的に大きな電力を受電するためには C レートに優れたバッテリーもしくは大容量キャパシタが必要となる。また、磁界は原理的に磁性体を過熱させる特性があり、道路上に金属物（鉄などの磁性体）があった場合、発熱の危険性がある。10 kW 出力の磁界結合による無線給電装置の送受電コイル間にステンレス製の金属タワシを 1 分間おくと 200℃まで、8 分間で 375℃まで温度上昇したという報告もある⁹⁾。そのため、磁界結合方式では異物検出システムが装備されている。

電界結合方式の場合、車体より長い送電電極を道路に埋設し給電を行う。車体が存在する場合としない場合の漏えい電界は図-2.7 のようになる。車体が存在する場合は送受電電極間で電界が発生し、この電界は電力伝送に寄与する。車体が存在しない場合は、左右の送電電極間で電界の主成分が発生し、道路上方方向への漏えいは少ない。本方式は、送電電極と受電電極が対抗していれば電力伝送が可能となるため、送電電極上に車体が存在している限り連続的に給電できることが特長である。連続給電により電源からの送電電力は磁界結合方式より小さくできる可能性があり、さらにバッテリーの小型化も期待できる。また、電界は金属物を発熱させる特性は持たない。

ただし、電界結合方式は、6.78MHz の高周波を利用することで高い伝送効率を得ているため、磁界結合方式に比べて伝送周波数が高く、現在市販されている高周波電源の出力は、磁界の 1/10 程度であり、高価である。現在、EV 化やグリーン電力への期待から

パワー半導体の技術革新が世界的に進んでいる状況にある。このため、無線給電道路が社会実装される時期には、電界結合方式に用いている高周波電源の高出力化に関する課題は十分に解決されていると期待している。

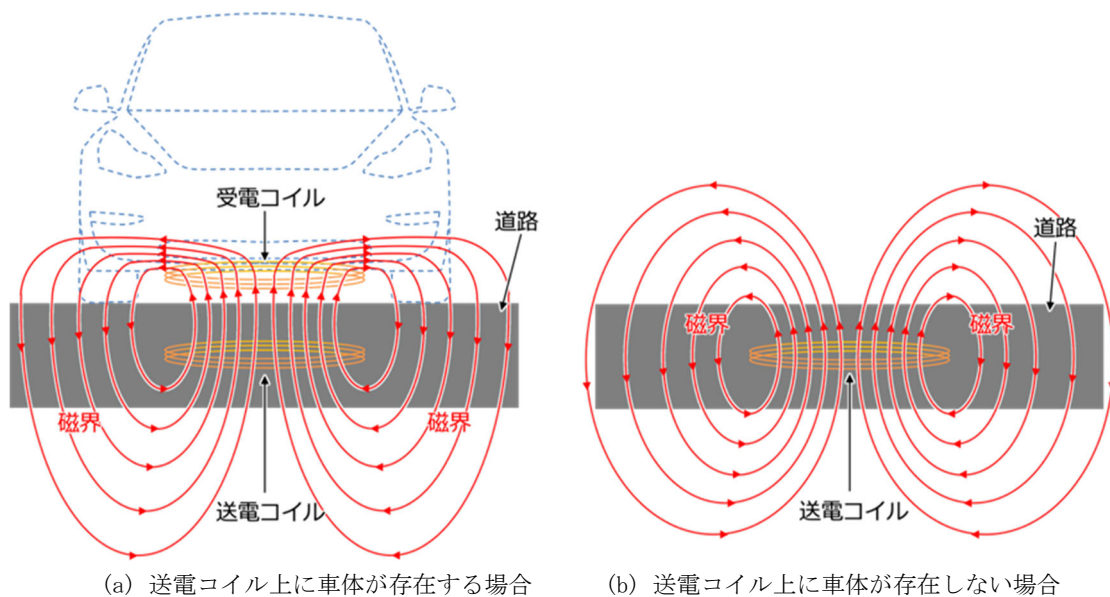


図-2.6 磁界結合無線電力伝送の漏えい磁界の振る舞い

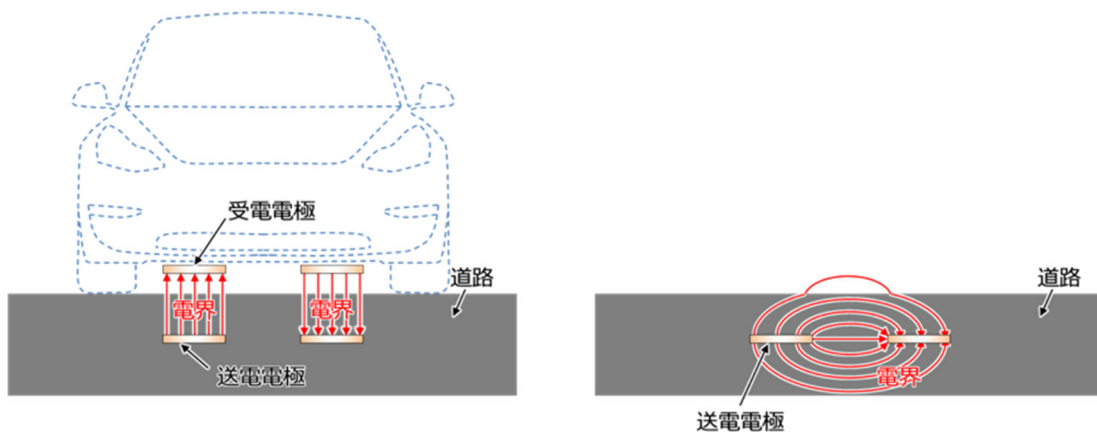


図-2.7 電界結合無線電力伝送の漏えい電界の振る舞い

第3章 無線給電道路システムの体系化技術の開発に向けた検討

3.1 無線給電道路システムの伝送効率検討

電界結合方式（伝送周波数：6.78MHz）を利用する無線給電において、目標とした出力10kW、受電電力7kWを実現するための舗装材料（表層、基層、下層路盤、上層路盤）の電気特性について検討し、走行中無線給電を実現するための無線給電道路システムを設計した。

図-3.1に本研究における効率の定義を示す。本研究では、高周波電源から出力された電力が無線給電道路路に入力され、出力されるまでの効率を「道路効率」と定義する。無線給電道路路上に車両がない場合、道路効率は無線給電道路の近端（電力入力端）から遠端までの伝搬効率を意味する。また、無線給電道路路側の整合回路に入力される高周波電力と、車両側の整合回路から出力される高周波電力の比を「伝送効率」と定義する。

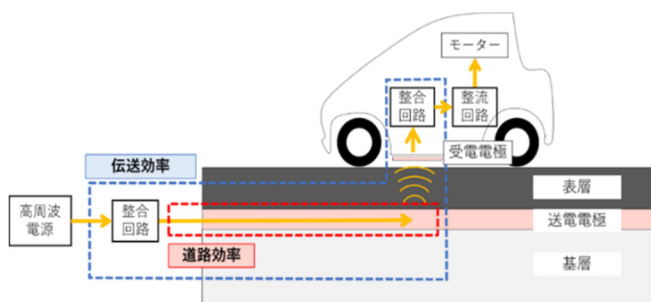


図-3.1 本研究における「効率」の定義

先行研究として、我々は総務省戦略的情報通信研究開発推進事業 SCOPE（研究期間 2013～2015 年度）において電界結合方式による無線給電道路システム（10m の直線路）を屋外に施工し、受電装置を装着した小型車両に対する走行中無線給電実験を実施した。その結果、10km/h の走行条件において送電電力3kW、受電電力1kW の無線給電を輪荷重17kN の舗装耐久性において実現した。しかし、舗装体内に水が滞留した場合の電力伝送効率の低下が課題であった。そこで、本研究では無線給電道路の防水および排水に関する工夫を行い、図-3.2に示す舗装断面を考案した。

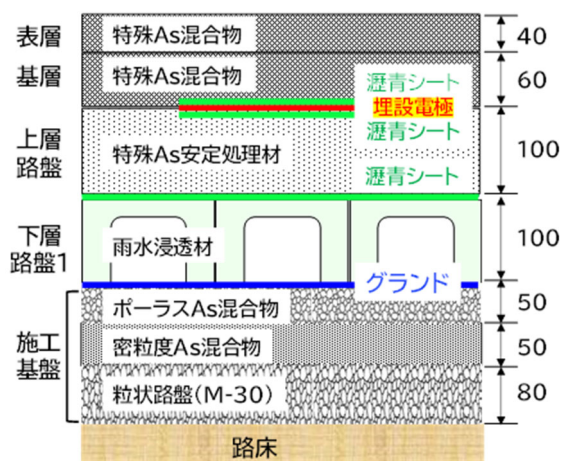


図-3.2 無線給電道路の舗装断面

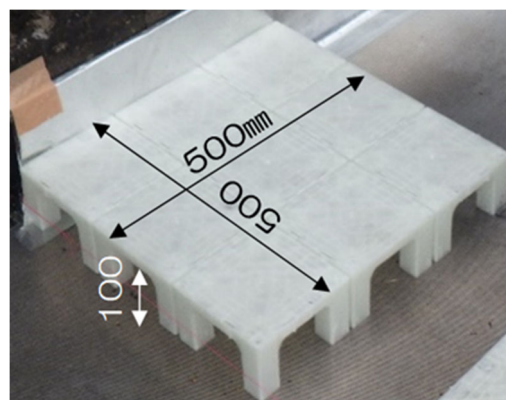


図-3.3 雨水浸透材

本舗装は上層から表層：特殊アスファルト混合物（厚さ100mm）、送電電極：SUS304（送電電極）、上層路盤：特殊アスファルト安定処理層、下層路盤：雨水浸透材、グラウンド（パンチングメタル）、施工基盤の順で積層している。特殊アスファルト混合物および特殊アスファルト安定処理材はセラミック骨材を連続粒度とすることで防水している。また、埋設した送電電極および上層路盤底部は瀝青シートによって水の回り込みを防止している。さらに、下層路盤に雨水浸透材を採用することで舗装体内に水が滞留しにくい構造とした。下層路盤に利用する雨水浸透材は、図-3.3に示す強化プラスチック製の材料であ

る。脚部を有するブロックを組み合わせた形状であるため、舗装内の水の滞留を防止すると共に電気定数（比誘電率および誘電正接）が改善し、これによって伝送効率の向上が期待できる。一方、脚部に応力が集中するため、基礎地盤をポーラスアスファルト混合物とすることで塑性変形や施工基盤面の沈下の防止、グランド下層の排水強化を期待した。

無線給電道路の伝送効率の向上には、送受電電極間および送電電極とグランド間の比誘電率 ϵ_r 、誘電正接 $\tan \delta$ が低い部材を選定することが重要である。試験施工を行った無線給電道路の各舗装構成の電気定数を表-3.1に示す。

表-3.1の電気定数を用いて、長さ20m長の無線給電道路上を受電電極が移動した場合の伝送効率のシミュレーションを実施した。シミュレーション結果を図-3.4に示す。ここで「低結合区間」は送電電極と受電電極の対抗面積が最大ではない区間、「高結合区間」は送電電極と受電電極の対抗面積が最大となる区間を意味している。伝送効率は無線給電道路上の受電電極の位置によって変動し、最大72.8%、平均50.1%となった。この様な位置による伝送効率の変動は、「定在波」の影響であり、無線給電周波数6.78MHzの波長と送電電極の長さ、表層・基層の誘電率が関係する波動現象である。送電電極が十分な長さとなると送電電極上に定在波節が発生し、定在波節では送電電極から電界が放射されないため、伝送効率は0%になる。

表-3.1 無線給電道路構成材料の電気特性

舗装構成	材質	電気定数
上層・基層	特殊アスファルト混合物 (セラミック骨材)	$\epsilon_r=3.63$ $\tan\delta=0.083$
送電電極	SUS304 (t:1mm)	$\sigma=1.39\times10^6$ $\mu=1$
	瀝青シート	$\epsilon_r=1.99$ $\tan\delta=0.011$
上層路盤	特殊アスファルト安定処理材 (セラミック骨材)	$\epsilon_r=3.7$ $\tan\delta=0.053$
下層路盤	雨水浸透材	$\epsilon_r=1.39$ $\tan\delta=0.028$
グランド	アルミバンディングメタル (t:1mm)	$\sigma=3.56\times10^7$ $\mu=1$

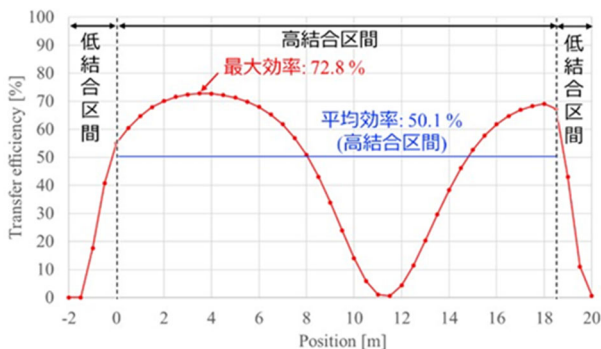


図-3.4 無線給電道路の伝送効率シミュレーション結果

定在波対策として、送電電極に進相コンデンサを挿入し、伝送路で生じた位相遅れを進相させることで定在波節を抑制する手法を考案した。

図-3.5に無線給電道路に実装した定在波対策のイメージを示す。試験施工した無線給電道路では、2m間隔で進相コンデンサを送電電極に設置した。進相コンデンサは、テフロンシート PTFE（厚さ1mm, $\epsilon_r:1.97$, $\tan \delta:0.002$ ）を採用し送電電極間に挟みこむことで構築した。本技術を適用した無線給電道路上を受電電極が移動した場合の伝送効率のシミュレーションを実施した。シミュレーションの概略図を図-3.6に、受電装置の構造を図-3.7に、シミュレーション結果を図-3.8に示す。結果、高結合区間の伝送効率は最大70.3%、最小54.2%、平均62.9%となった。本シミュレーションにより定在波の影響による伝送効率の低下が解消され、平均効率は12.8ポイント向上することが予想された。

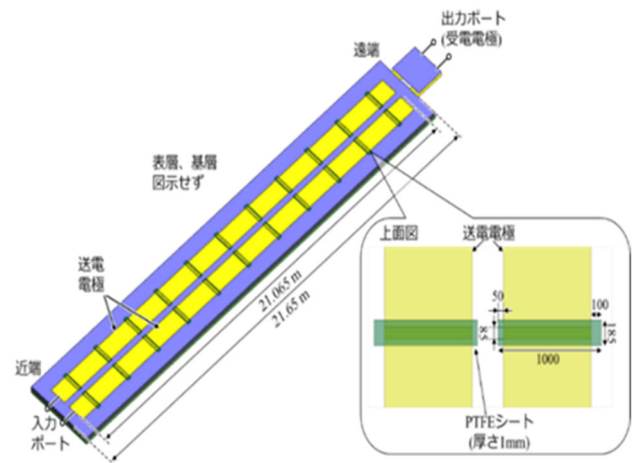


図-3.5 定在波対策による送電電極イメージ

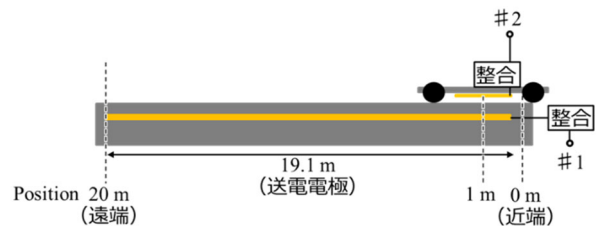


図-3.6 伝送効率シミュレーション概略図

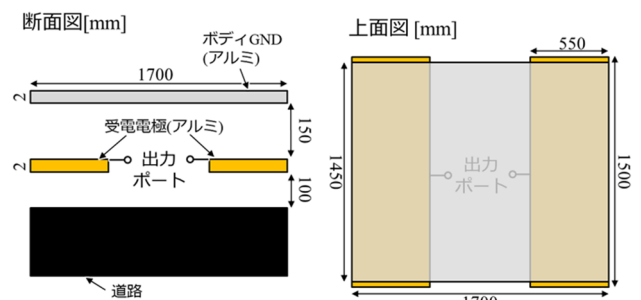


図-3.7 受電装置の構造

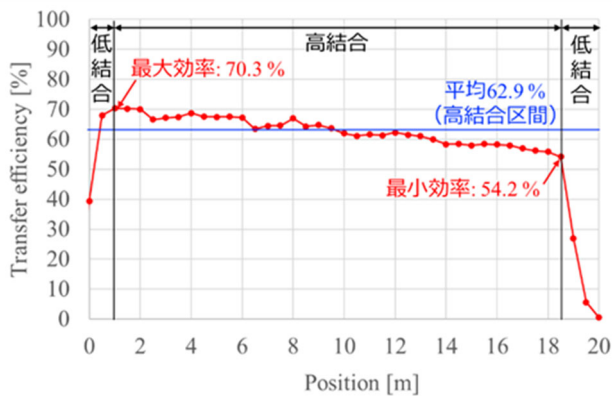


図-3.8 定在波対策による
伝送効率シミュレーション結果

3.2 送受電システムの試作

無線給電道路システムは図-3.9 に示す要素で構成される。送電システムは、高周波電源（インバータ）、整合回路、バラン、EMC フィルタで構成され、舗装に埋設した送電電極に接続した。受電システムは、受電電極、受電側整合回路、バランで構成した。なお、PM（パワーメータ）は電力測定器である。

高周波電源は直流電源から供給された直流電力を 6.78MHz の高周波電力に変換する装置である。図-3.10 に試作機の外観を示す。本研究では、令和3年度から令和4年度は 5kW 出力、令和5年度は 10kW 出力の装置を実験で利用した。EMC フィルタは高周波電源から出力される高調波ノイズを抑制する装置であり、13.56MHz～150MHz：30dB 以上の阻止減衰量の仕様とした。整合回路およびバランは高周波電源から出力された高周波電力の電力反射を最小限に抑え効率的に車両に供給するために必要な装置である。本実験系では高周波電源出力端、無線給電道路入力端、受電電力出力端の3ヶ所に設置した。

トレーラに搭載する受電装置は受電電極（アルミニウム製、1,500mm×幅 550mm×t 1mm 2枚）、グラウンド板（アルミニウム製、1,500mm×幅 1,700mm×t 1mm）、整合回路、バランで構成し受電電極とグラウンド板は絶縁ガイシで固定する。試作機の外観を図-3.11 および図-3.12 に示す。薄型・軽量であり車体底部に取付けも容易である。

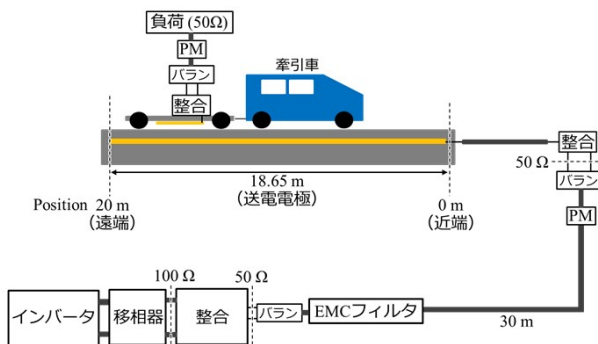


図-3.9 無線給電道路のシステム構成

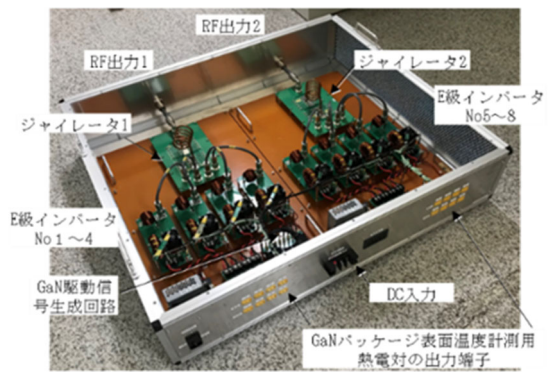


図-3.10 高周波電源試作機

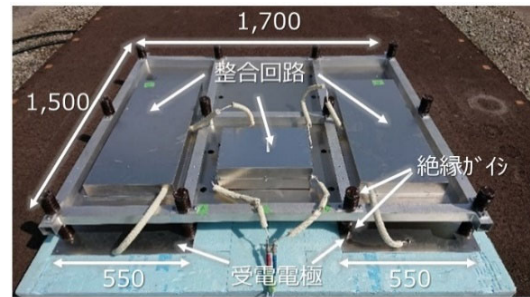


図-3.11 トレーラに搭載した受電装置

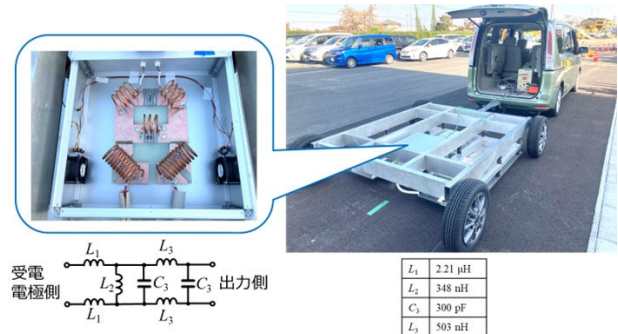


図-3.12 受電装置（整合回路）

3.3 進相コンデンサによる定在波抑制実験

表層施工前の無線給電道路を用いて、送電電極に進相コンデンサを装荷することで定在波抑制が可能か検討した。進相コンデンサ挿入実験の写真を図-3.13、設置部の断面イメージを図-3.14 に示す。進相コンデンサは、1000mm×185 mmのテフロンシートの両面に SUS304 製のテープ 850mm×135mm を貼り付けることで、850mm×135mm×厚さ 1mm のサイズの平板コンデンサとした。この進相コンデンサを図-3.5 に示すように送電電極の接合部に 2m 間隔で挿入し延長 20m の送電電極を構築した。

図-3.15 に進相コンデンサを挿入の有無による伝送効率を示す。進相コンデンサを挿入しない場合、最大効率は 83%, 最低効率は 10% となり定在波の影響により伝送効率変動を確認した。一方、進相コンデンサを挿入することで最大効率 68%, 最低効率 51% となり、定在波が抑制されることが示された。

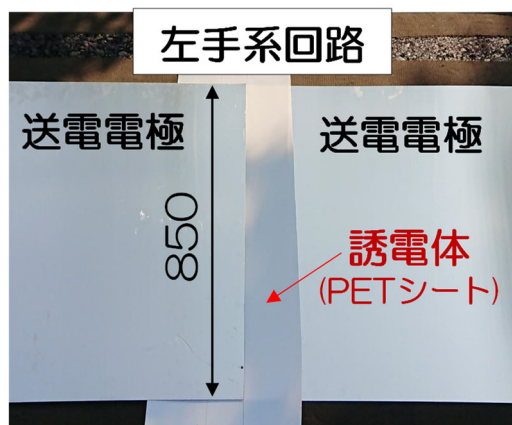
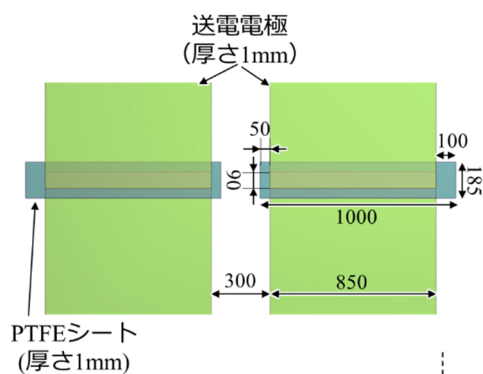
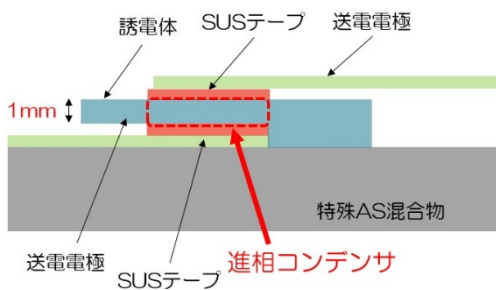


図-3.13 進相コンデンサの挿入実験



(1) 進相コンデンサの平面イメージ



② 進相コンデンサの断面イメージ

図-3.14 進相コンデンサの形状

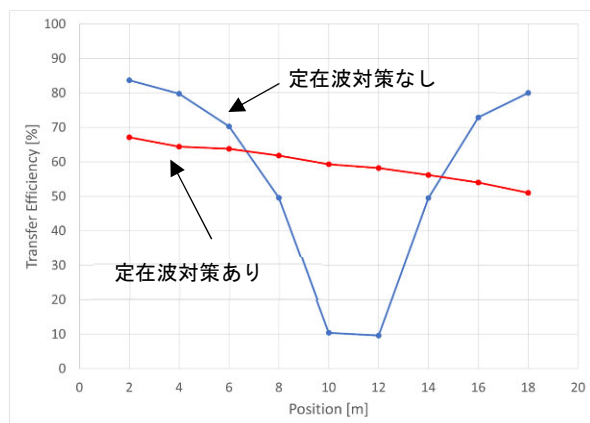


図-3.15 表層・基層施工前の伝送効率

3.4 非走行条件における無線給電実験

非走行条件での実験は、長さ 5m 道路における給電実験（高周波出力：5kW、牽引車なし）、長さ 20m 道路における給電実験（高周波出力：5kW、牽引車あり）、長さ 20m 定在波対策を施した道路における給電実験（高周波出力：5kW および 10kW、牽引車あり）を実施した。

令和 3 年度に試験施工した長さ 5m の小型模擬試験体に最大出力 5kW の高周波電源を接続し受電電極（アルミニウム製、1,500mm×幅 550mm×t 1mm 2枚）を設置した条件で無線給電実験を行った。無線給電実験の実験系を図-3.16 に示す。送電側整合回路の入力側に高周波電源を、受電側整合回路の出力側に 50 Ω ダミーロードを接続し、5kW の無線給電実験を実施した。送電側整合回路入力電力 P_{in} が 5kW における受電側整合回路出力電力： P_{out} は 3.9kW であり、伝送効率は 78% であった。

令和 4 年度に試験施工した長さ 20m の試験走行路に最大出力 5kW の高周波電源を接続し停車条件における無線給電実験を行った。図-3.17 に非走行実験のイメージ、図-3.18 に伝送効率の測定結果を示す。また、近端から 1m の位置にトレーラを停車した条件での入力電力 P_{in} と出力電力： P_{out} の関係を図-3.19 に示す。実験の結果、最大効率は 72.8%（近端から 2m の位置）、平均効率は 54.0% であった。また、入力電力と出力電力は比例関係にあることを確認した。

令和 5 年度に試験施工した、定在波対策のために送電電極に進相コンデンサを挿入した構造の長さ 20m の試験走行路に最大出力 10kW の高周波電源を接続し停車条件における無線給電実験を行った。図-3.20 に伝送効率の測定結果を示す。また、近端から 1m の位置にトレーラを停車した条件での入力電力 P_{in} と出力電力： P_{out} の関係を図-3.21 に示す。

実験の結果、最大効率は 62.7%（近端から 4m の位置）、平均効率は 58.1% であり、高結合区間内において常に安定した伝送効率が得られることが示された。また、入力電力と出力電力は比例関係にあることが確認され、最大入力電力 P_{in} 9.8kW 入力時の出力電力 P_{out} は 5.9kW、伝送効率は 60.2% であった。またトレーラが横ずれした場合の伝送効率の変化を実験により確認した。図-3.22 に実験イメージを示す。道路中心と車両中心が一致する場所を横ずれ位置 $Y=0$ mm と定義し、右側の横断方向に車両を 50mm 間隔で移動させた場合の S パラメータから伝送効率を算出した。実験結果を図-3.23 に示す。受電電極がすべて送電電極上にあり対向面積が変化しない区間は伝送効率が変化せず、その後、低結合区間では徐々に伝送効率は低下するが、横ずれ 300mm において伝送効率 50% が得られる横ずれに強い特長を有することが確認できた。

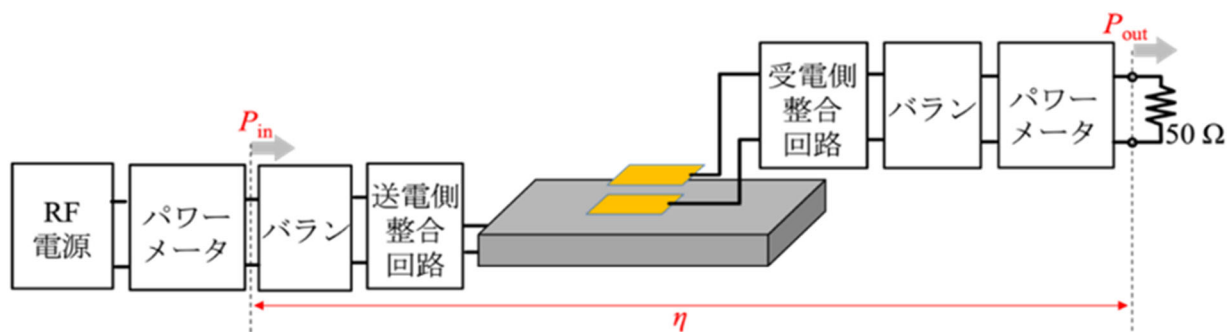


図-3.16 5m 道路における無線給電実験系統図

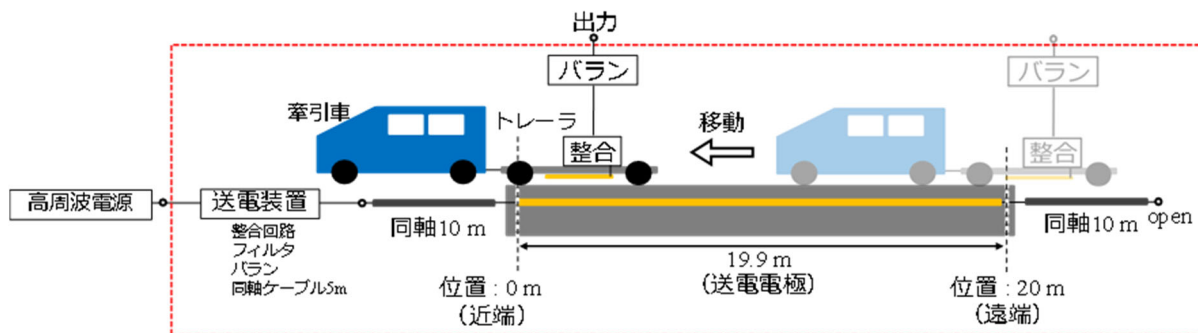


図-3.17 非走行条件における無線給電実験イメージ

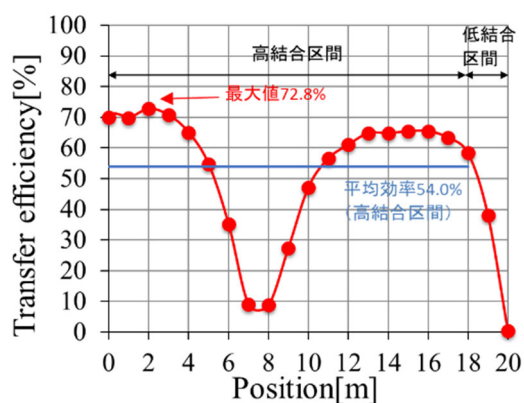


図-3.18 長さ 20m 試験走行路での伝送効率 (令和 4 年度実験結果)

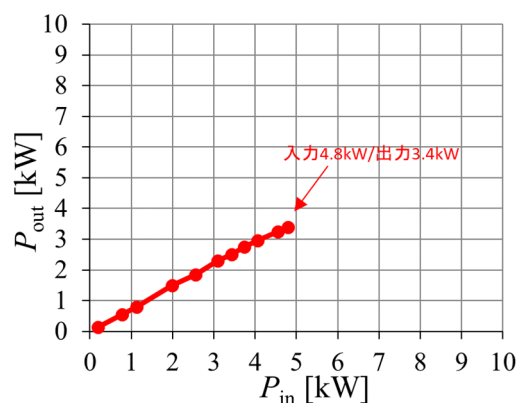


図-3.19 近端側 1m における入出力電力 (令和 4 年度実験結果)

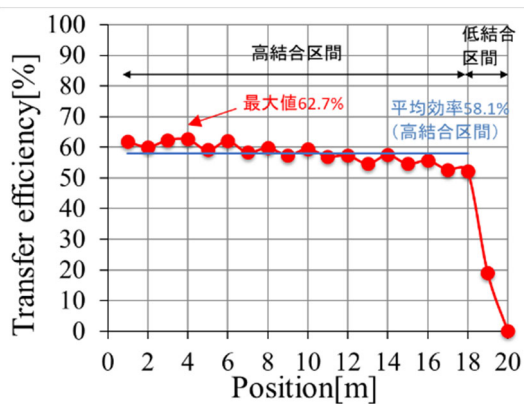


図-3.20 定在波対策後の試験走行路での伝送効率 (令和 5 年度実験結果)

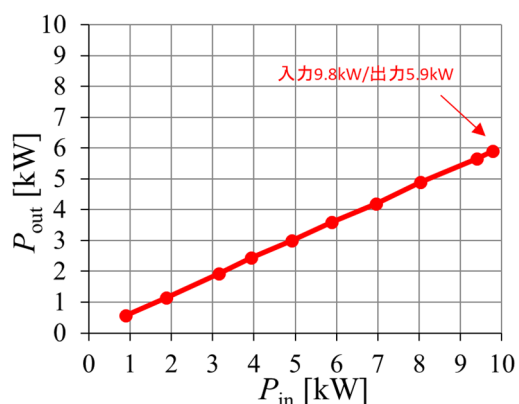


図-3.21 近端側 1m における入出力電力 (令和 5 年度実験結果)

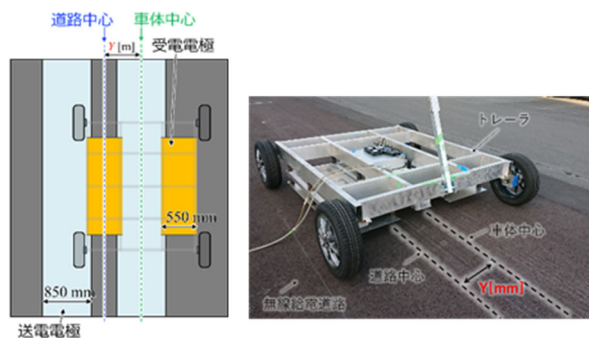


図-3.22 車両横ずれ実験のイメージ

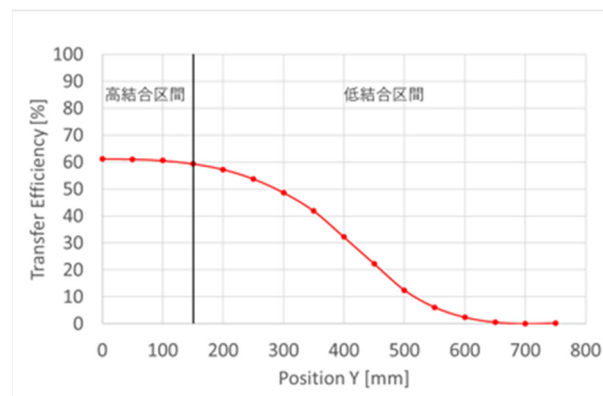


図-3.23 車両横ずれ実験の結果

3.5 走行中車両への無線給電実験

走行中無線給電では、道路上を安定して連続的に電力が給電できることが重要である。そこで、受電装置を搭載したトレーラによって、無線給電道路上を走行する条件で無線給電実験を行った。ここで、トレーラを牽引する車両（ガソリン車）の走行速度は、時速 20km とし、高周波電源の出力は、5kW とした。実験状況を図-3.24（道路進入前）、図-3.25（無線給電道路上）、図-3.26（道路通過後）に示す。

道路進入前は、送電電力および受電電力が 0W であった。道路進入後（無線給電道路上）は車両の位置によって多少送電電力量は変動するが、道路近端においては送電約 5kW、受電約 3kW となり、無線給電道路上で連続して電力を受電できることを確認した。なお、道路通過後は、送電電力および受電電力が 0W になった。

以上の実験結果より、定在波対策を行った長さ 20m の無線給電道路上を時速 20km で走行する車両に非接触で連続して電力を供給可能であることが実証された。



図-3.24 走行中給電(道路進入前)



図-3.25 走行中給電(無線給電道路上)



図-3.26 走行中給電(道路通過後)

第4章 舗装材料・構造の検討および施工技術の開発

4.1 無線給電道路の舗装材料・舗装構造の検討

無線給電道路は、優れた電気的特性の材料を用い、給電性能の向上を図る目的で舗装の周面や接合部の隙間、ひび割れ等から舗装体内に浸透した雨水を速やかに排水できる舗装構造としている。

舗装材料の材質や雨水浸透材の材質・形状に改良を加えることで、高速道路における大型車両の走行を想定して、輪荷重 49kN で交通量区分 N_7 (3,500 万回/10 年) を満足する舗装構造を検討した。

(1) 舗装材料の選定

a) 特殊アスファルト混合物および特殊アスファルト安定処理路盤

セラミック骨材は一般的な天然骨材を使用したものに比べて、伝送効率等の電気的特性に優れている。無線給電道路の表層、基層および上層路盤はセラミック骨材と石粉を組み合わせ製造した特殊アスファルト混合物と特殊アスファルト安定処理路盤を採用している。また、特殊アスファルト混合物の動的安定度の向上を図るために、特殊アスファルト混合物のバインダにはポリマー改質アスファルトⅡ型を用いている。

特殊アスファルト混合物および特殊アスファルト安定処理路盤は NEXCO 設計要領（第一集）の品質規格を満足する配合を検討した。特殊アスファルト混合物および特殊アスファルト安定処理路盤の材料特性を表-4.1 および表-4.2 に示す。

b) 雨水浸透材（下層路盤）

無線給電道路の下層路盤には 4 本の脚部を有するブロックを 9 個組み合わせ 1 辺 500mm×高さ 100mm を 1 ユニットとする雨水浸透材を使用している。1 層当り 86L/m² の貯・排水量を賄う空隙構造であり、大型車両の载荷に対する強度を改善するために高強度で高靱性な強化プラスチックに素材改良を行った。改良した雨水浸透材の形状・寸法は図-4.1 に示す。

室内における圧縮試験の結果から求めた弾性係数は 67MPa、FWD で測定したたわみ量から逆解析で求めた弾性係数は 37MPa である。

表-4.1 特殊アスファルト混合物の材料特性

項目	混合物特性	規格値
アスファルト量 (%)	6.5	—
密度 (g/cm ³)	2.131	—
空隙率 (%)	4.1	3～5
飽和度 (%)	76.4	70～85
安定度 (kN)	12.87	6以上
フロー (1/100cm)	23	20～40
残留安定度 (%)	88.8	75以上
動的安定度 (回/mm)	6,770	3,000以上
剥離面積率 (%)	0.7	5以下

表-4.2 特殊アスファルト安定処理路盤の材料特性

項目	混合物特性	規格値
アスファルト量 (%)	4.6	—
密度 (g/cm ³)	2.128	—
空隙率 (%)	7.0	3～12
飽和度 (%)	57.3	—
安定度 (kN)	7.65	3以上
フロー (1/100cm)	19	15～45
残留安定度 (%)	122.2	50以上

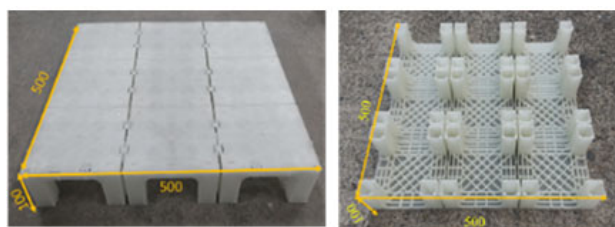


図-4.1 改良した雨水浸透材

(2) 舗装構造の検討

無線給電道路は、舗装体内にステンレス鋼板の送電電極を設置し、下層路盤には硬質プラスチック製の雨水浸透材を用いる特殊な舗装構造をしている。交通量区分 N_7 (3,500 万回/10 年) の供用条件に対

しても満足する舗装構造を検討した。

a) 各舗装面の付着性の改良

基層および上層路盤の特殊アスファルト混合物とステンレス鋼板である送電電極との一体性を高めるため、送電電極と基層、送電電極と上層路盤の界面に瀝青シートを挟む構造とした。この改良により、送電電極と特殊アスファルト混合物の引張強度は 0.61N/mm^2 となった。

強化プラスチック製で表面が平滑な雨水浸透材と上層路盤（特殊アスファルト安定処理路盤）との一体性を高めるため、雨水浸透材上面に瀝青シートを敷設する構造に改良した。この改良により、雨水浸透材と上層路盤の引張試験は 0.91N/mm^2 となった。

各層間の付着性能は道路橋床版防水便覧の引張付着応力規格値 0.6N/mm^2 以上を満たしていることを確認した。

b) 施工基盤の改良

R3 年度の試験施工 I では路床面上に雨水浸透材を設置している。雨水浸透材の脚部が路床にめり込むのを抑制するために層間にジオテキシートを敷設する舗装構造としている。雨水浸透材と路床の耐力確認を行った結果、雨水浸透材と路床の耐力が不足していることが確認できた。雨水浸透材の下部に粒状路盤層とアスファルト混合物層からなる施工基盤を設けることで支持力の向上を図ることとした。耐力確認試験状況を図-4.2、耐力確認試験結果を表-4.3 に示す。



図-4.2 耐力確認試験状況

表-4.3 耐力確認試験結果

	弾性係数 (MPa)
雨水浸透材＋ ジオテキシート＋路床	11.5
雨水浸透材＋ アスファルト混合物層	36.0

c) 雨水浸透材の均質性の確認

下層路盤に用いている雨水浸透材は脚部を有するブロックを組み合わせた構造をしている。雨水浸透材の脚部における応力集中の有無を確認するとともに、舗装表面のたわみ量が全面にわたって均質であり、支持力が一様であるかを検証した。

FWD 試験については、図-4.3 に示すように、1

ユニット $500 \times 500\text{mm}$ の雨水浸透材を隅角部・端部・中央部の 3 つの部位に分けて載荷するようにし、隣り合う雨水浸透材の載荷位置も考慮して、局部的なたわみ量の違いについて確認した。

載荷点 27 箇所のたわみ量は、変動係数 $0.012 \sim 0.021$ の範囲で収まり、図-4.4 に示すようにたわみ曲線も同様の形状となった。このことから、雨水浸透材を用いた下層路盤は全体的に均質な層であり、支持力も一様であることを確認した。

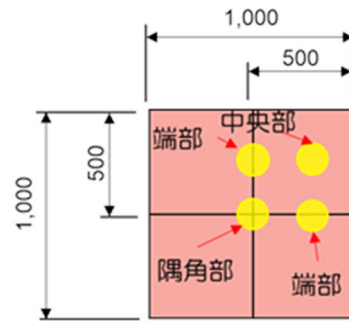


図-4.3 FWD試験載荷位置

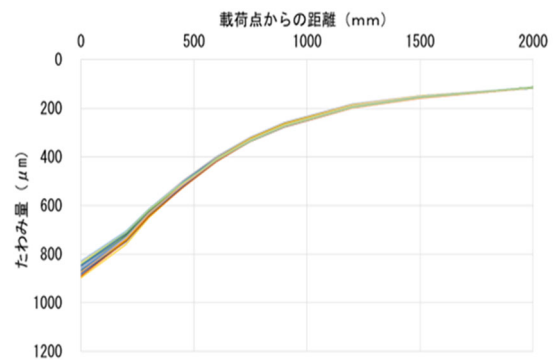


図-4.4 FWD試験たわみ曲線

d) 雨水浸透材の一体性の改良

下層路盤層に用いた雨水浸透材は、前述したように 1 ユニット $500 \times 500\text{mm}$ の矩形の形状である。隣り合う雨水浸透材は突き合わせて設置しているため、突合せ箇所上面にせん断作用に伴うリフレクションクラックなどの損傷が生じる可能性がある。隣り合う雨水浸透材の接合方法を改良し、雨水浸透材全体の一体性をさらに向上させることにした。

雨水浸透材の突き合わせ部を一体化させる方法は、①雨水浸透材の端部を L 型アングルで固定する方法、②雨水浸透材の上部全面をプラスチック平板で被覆する方法、の 2 種類とし、評価方法は FWD 試験によるコンクリート舗装の目地部の荷重伝達率を測定する方法を準用した (図-4.5)。



図-4.5 荷重伝達率の評価方法

表-4.4 の荷重伝達率測定結果から、雨水浸透材の一体性を向上させる接合方法として、プラスチック平板を雨水浸透材上部全面に接着する方法が最も優れ、ブロック接合面からのリフレクションクラックを抑制することができるかと判断した。

表-4.4 荷重伝達率測定結果

雨水浸透材の接合方法	荷重伝達率
雨水浸透材固定なし	57.1%
L型アングル（金属）	64.7%
L型アングル(プラスチック)	66.5%
プラスチック平板（t=2mm）	70.1%

雨水浸透材上面にプラスチック平板を設置して施工した20m×3.5mの試験施工区間全域において計78測点にてFWD試験を実施した。FWD試験の測定位置は載荷点が雨水浸透材の中央部や隣り合う雨水浸透材の接合部（端部）や隅各部とし、雨水浸透材の一体性の確認を行った。FWD試験の載荷位置を図-4.6に示す。

載荷点78箇所のたわみ量測定結果から、各たわみセンサーの変動係数は0.024～0.040の範囲で収まり、図-4.7に示すようにたわみ曲線も同様な形状となった。このことから、雨水浸透材上面にプラスチック板を用いたことにより下層路盤は全体的に均質な層となったことが確認できた。

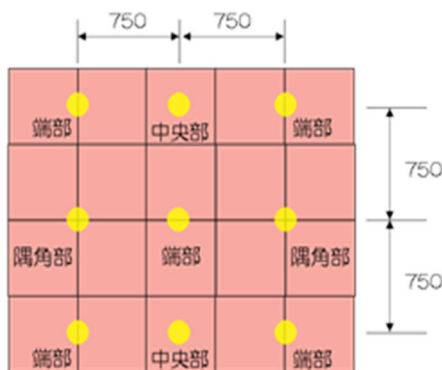


図-4.6 FWD試験載荷位置

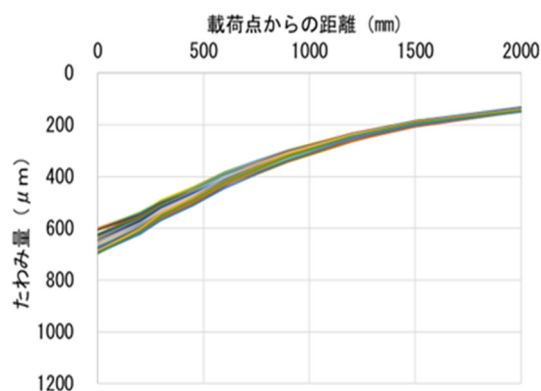


図-4.7 FWDによるたわみ曲線

e) 雨水浸透材の脚部の塑性変形の検証

下層路盤として用いる雨水浸透材は脚部を有するブロックを組み合わせた特殊な形状であるため、図-4.8に示すように脚部に応力が集中することが予想された。施工基盤の上層に高空隙の排水性アスファルト混合物を用いるため局所的な沈下や塑性変形の発生の有無を検証した。

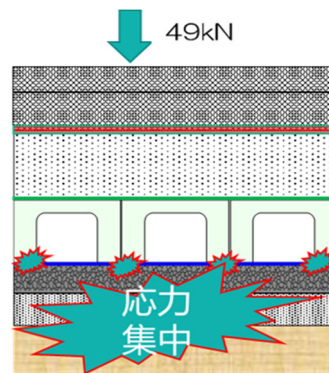


図-4.8 雨水浸透材脚部集中荷重の模式図

検証試験は雨水浸透材に直接載荷し脚部の局所的に発生する塑性変形や施工基盤面の沈下状況を評価した。載荷試験条件を表-4.5に示す。

表-4.5 載荷試験条件

項目	条件
混合物の種類	排水性 As 混合物 (13) 密粒度 As 混合物 (13)
供試体の形状	300×300×50mm
試験温度	25℃
載荷荷重	1.0kN/mm ²
載荷時間	48 時間

検討する排水性アスファルト混合物(13)は空隙率20%、ポリマー改質アスファルトH型、比較用の密粒度アスファルト混合物(13)は空隙率4%、ポリマー改質アスファルトII型で作製した。

載荷荷重は大型車相当の輪荷重(49kN)と舗装の自重を合算した分散荷重相当とし一定荷重で載荷した。載荷試験状況を図-4.9、試験結果を図-4.10に示す。

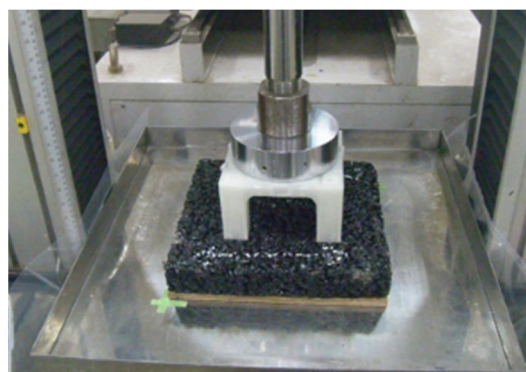


図-4.9 載荷試験状況

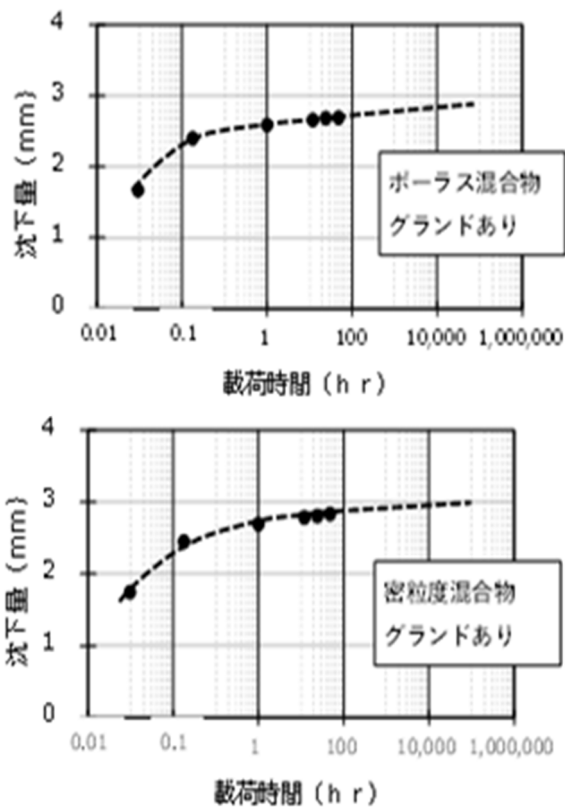


図-4.10 荷重試験結果
(上段：排水性 As 下段：密粒度 As)

混合物の種類に関わらず、荷重開始から 30 分ほどで 2.5mm の沈下量が確認された。アスファルト混合物とグラントの隙間および雨水浸透材脚部の弾性変形が要因と考えられる。それ以降の沈下は微小であり、収束する結果となった。

高空隙の排水性アスファルト混合物を施工基盤に用いても雨水浸透材脚部の応力集中に起因する施工基盤の塑性変形は発生する可能性は極めて小さいと判断した。

f) 雨水浸透材（下層路盤）および施工基盤の排水能力の検証

R3 年度の舗装断面は雨水浸透材を 2 段とし、下部（1 段目）で舗装体内に侵入した雨水等を一時的に貯留し、給電効率に影響を与えるグラントの上面まで侵入した水が到達しない構造としていた。

舗装体強度の向上およびコストダウンの観点から、雨水浸透材積層数を削減し、施工基盤上層混合物に排水性アスファルト混合物を適用してすることで舗装体内に侵入した水を排水する構造に改良した。

排水能力の検証として、無線給電道路の模擬試験体の上面に散水した量と、排水性アスファルト混合物層に設けた排水ドレーンからの排水量を測定した。

散水開始からグラント上部に滞水することなく、排水性アスファルト混合物層に流入した水は速やかに排水されていることを確認した。

無線給電道路において雨水浸透材を 1 段とした場合でも、流入した水は速やかに排水され、内部に滞水することがないことが確認できた。



図-4.11 排水能力確認試験

4.2 無線給電道路の試験施工

(1) 小型模擬試験体（R3年度）

a) 試験施工 I

F S 研究での課題を踏まえて雨水浸透材の材質と形状を改良して表-4.6および図-4.12に示す舗装断面で、幅3.5m×長さ5.0mの試験施工 I を構築した。

下層路盤に特殊な構造を持つ無線給電道路でも表層、基層および上層路盤は実施工レベルの施工機械を使用する在来の施工法で施工できた。試験施工 I の施工状況を図-4.13および図-4.14に示す。

表-4.6 舗装断面：試験施工 I（R3 年度）

構成	種別	厚さ (mm)
表層	特殊 As 混合物	40
基層		60
送電電極	SUS304	1
上層路盤	特殊 As 安定処理	100
下層路盤 2	雨水浸透材	100
グラント	アルミ板	1
下層路盤 1	雨水浸透材	100
路床	ジオテキシート	-
	路床	-

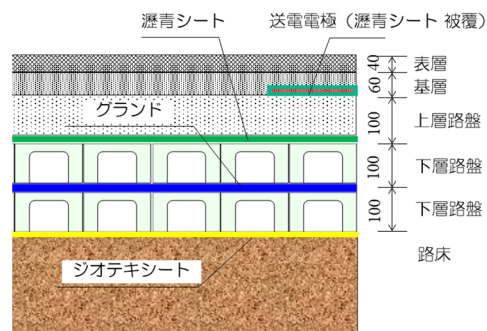


図-4.12 試験施工 I 舗装断面（R3 年度）



図-4.13 ジオテキシット設置



図-4.14 雨水浸透材（2段目）設置状況

b) 試験施工Ⅱ

試験施工Ⅰにおける舗装耐力の検証結果から下層路盤と路床の支持力を改善する必要性が生じたため、路床上面に粒状路盤層とアスファルト混合物層からなる施工基盤を設けた。表-4.7および図-4.15に示す舗装断面で幅2.0m×長さ3.0mの試験施工Ⅱを構築した。

表-4.7 舗装断面：試験施工Ⅱ（R3年度）

構成	種別	厚さ(mm)
表層	特殊 As 混合物	40
基層		60
送電電極	SUS304	1
上層路盤	特殊 As 安定処理	100
下層路盤 2	雨水浸透材	100
グラウンド	アルミ板	1
下層路盤 1	雨水浸透材	100
施工基盤	密粒度 As 混合物	50
施工基盤	粒度調整碎石	80
路床	路床	-

表層・基層および上層路盤に使用した各種特殊アスファルト混合物の締固め度はNEXCO舗装施工管理要領の規格値96%以上を確保した。また、目視観察の

範囲であるが、無線給電道路であっても、実施工レベルの比較的大型の施工機械を使用する在来の施工法で円滑に施工できることを確認した。試験施工Ⅱの施工状況を図-4.16～図-4.18に示す。

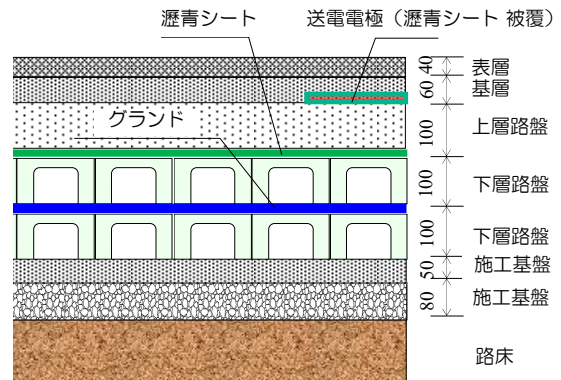


図-4.15 試験施工Ⅱ 舗装断面（R3年度）



図-4.16 施工基盤（As 層）舗設状況



図-4.17 雨水浸透材（1段目）設置完了



図-4.18 表層舗設状況

(2) 長さ20m試験走行路 (R4年度)

舗装構造の検討（雨水浸透材の均質性の確認，雨水浸透材の一体性の改良，雨水浸透材および施工基盤の排水能力の検証）結果を踏まえて，表-4.8および図-4.19に示す舗装断面で延長20m，幅員3.5mの試験施工を構築した。

表-4.8 舗装断面：試験施工（R4年度）

構成	種別	厚さ(mm)
表層	特殊 As 混合物	40
基層		60
送電電極	SUS304	1
上層路盤	特殊 As 安定処理	100
下層路盤	雨水浸透材	100
グラウンド	アルミ板	1
施工基盤	排水性 As 混合物	50
施工基盤	密粒度 As 混合物	50
施工基盤	粒度調整砕石	80
路床	路床	-

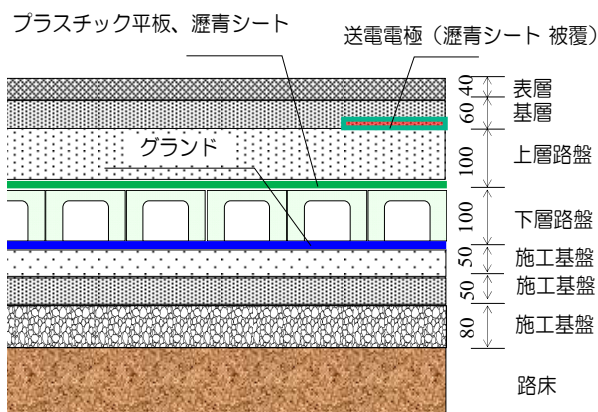


図-4.19 試験施工 舗装断面（R4年度）

R4年度の試験施工では施工基盤の上層に排水性アスファルト混合物を適用し，端部のドレーンパイプから隣接する既設側溝に舗装内に侵入した雨水等を排水する構造とした。また，雨水浸透材の一体性を改善するために上面にプラスチック平板を設置した。施工においては，雨水浸透材の設置，送電電極やグラウンドの敷設，同軸ケーブルの配線などの無線給電道路特有の工種は人力施工だが，その他の作業は，一般的な舗装工と同じ施工機械を使用して円滑に施工できることが確認できた。

実装に向けては，雨水浸透材やグラウンドを施工基盤に固定する作業などを省力化できるように，雨水浸透材などの使用材料の形状を改良するとともに，自動化施工ができるように施工方法を改善することで，労力と作業時間を省力化できると考える。

各作業を通して，実施工規模の施工機械（アスファルトフィニッシャー（重量約8t），アスファルト混

合物を積載した10tonダンプ（重量約20t）が頻繁に通過した。目視観察では雨水浸透材の破損や沈下等に起因する損傷は認められず，良好な耐荷性を有するものと判断した。



図-4.20 施工基盤 排水性 As 混合物施工状況



図-4.21 雨水浸透材設置状況



図-4.22 プラスチック平板設置状況



図-4.23 積載ダンプによる路面への影響確認

(3) 長さ 20m改良型試験走行路 (R5 年度)

R4年度の試験施工と同一の舗装構成 (表-4. 6) で長さ20mの試験舗装を構築した。給電効率の向上を目的として、送電電極の設置方法を改良した。

無線給電道路の施工フローを図-4. 24, 施工状況を図-4. 25～図-4. 39に示す。

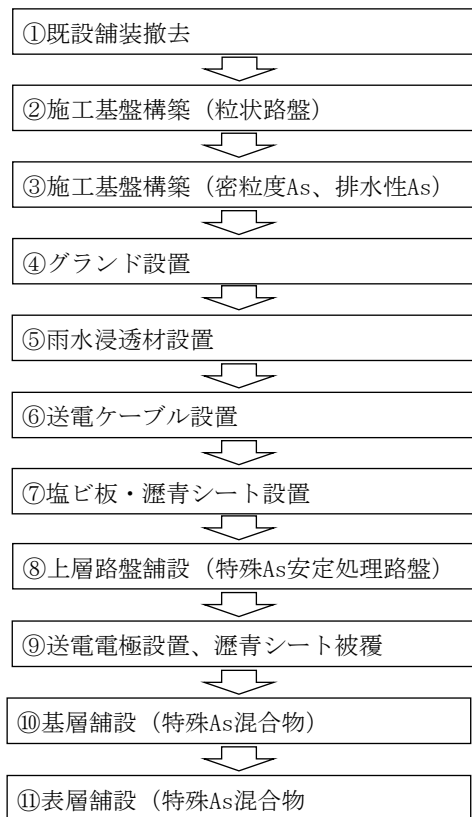


図-4. 24 無線給電道路の施工フロー



図-4. 25 ①既設舗装撤去



図-4. 26 ②施工基盤 (粒状路盤) 舗設



図-4. 27 ③施工基盤 (密粒度 As) 舗設



図-4. 28 ③施工基盤 (排水性) ドレーンパイプ設置



図-4. 29 ③施工基盤 (排水性 As) 舗設



図-4. 30 ④グラント設置



図-4. 31 ⑤雨水浸透材設置



図-4.32 ⑥送電ケーブル設置

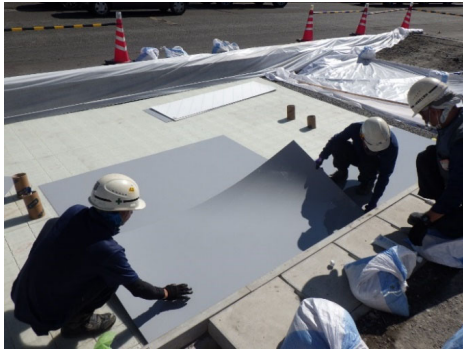


図-4.33 ⑦プラスチック平板設置



図-4.34 ⑦瀝青シート設置



図-4.35 ⑧上層路盤 舗設



図-4.36 ⑨送電電極設置



図-4.37 ⑨瀝青シート設置



図-4.38 ⑩基層 舗設



図-4.39 ⑪表層 舗設

送電ケーブルや送電電極に損傷を与えないように施工時の配慮は必要だが、上層路盤、基層および表層の施工は従来の舗装工と同じ規模の施工機械を使用することで円滑に施工することができ、特殊アスファルト混合物の品質も規格値を満足することができた。

人力施工で設置する雨水浸透材の固定方法を改善した結果、施工時間を短縮することができた。大型施工機械が雨水浸透材上面を走行しても損傷等の異常は確認されなかった。

R5年度の施工においても送電電極や送電ケーブルの配線については人力で施工を行っているため延長20mでも3日間を費やしている。施工効率を改善するためにも送電電極をユニット化するなどの改良が必要であると考えられる。

(4) まとめ

3年間の無線給電道路の舗装材料および舗装構造の検討をもとに疲労破壊輪数3,500万回/10年を満足する舗装構成を決定した。無線給電道路の標準舗装構成を表-4.9に示す。

表-4.9 無線給電道路の標準舗装構成

舗装構成		種別	仕様（規格・基準）	特記
区分	層厚(mm)			
表層	50	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物 (ポリマー改質アスファルトⅡ型)	セラミック骨材
基層	50	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物 (ポリマー改質アスファルトⅡ型)	セラミック骨材
送電電極	1	ステンレス板	SUS304	瀝青シート被覆
上層路盤	100	特殊アスファルト安定処理	アスファルト安定処理路盤 (StAs60/80)	セラミック骨材
下層路盤	2	プラスチック板	硬質プラスチック	瀝青シート被覆
	100	雨水浸透材	硬質プラスチック (500×500×100mm)	
グラウンド	1	パンチングメタル	アルミニウム (孔径2mm)	
施工基盤	50	アスファルト混合物	排水性アスファルト混合物 (ポリマー改質アスファルトH型)	
	50	アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物 (ストレートアスファルト)	
	100	粒状路盤	M-30	

4.3 無線給電道路の舗装強度の検討

(1) FWD試験結果（R3年度）

試験施工ⅠにおいてFWDによるたわみ量測定を実施し、計測したたわみ量から各層の弾性係数を求めた。求めた弾性係数を用いて多層弾性理論に基づく解析ソフト（GAMES）により基層の下面引張りひずみと上層路盤の下面引張りひずみを求めた。表-4.10に多層弾性理論による構造評価結果を示す。

試験施工Ⅰの舗装断面では交通量区分N7に対する舗装耐力は満足していない。

表-4.10 多層弾性理論による構造評価結果
(試験施工Ⅰ)

着目点	FWD試験結果より求めた引張りひずみ	舗装設計期間10年における許容ひずみ
基層下面	105 μ	$\leq 101 \mu$
上層路盤下面	364 μ	$\leq 229 \mu$

試験施工Ⅱは試験施工Ⅰの結果をうけ、路床面上に施工基盤（粒状路盤およびアスファルト層）を設けた舗装断面に改良した。表-4.11に多層弾性理論による構造評価結果を示す。

試験施工Ⅱの舗装断面なら交通量区分N7に対しても舗装耐力を満足することが明らかとなった。

(2) FWD試験結果（R4年度）

雨水浸透材の一体性の改良、雨水浸透材および施工基盤の排水能力の検証結果をうけ、雨水浸透材上面にプラスチック平板の設置、グラウンド下の雨水浸

表-4.11 多層弾性理論による構造評価結果
(試験施工Ⅱ)

着目点	FWD試験結果より求めた引張りひずみ	舗装設計期間10年における許容ひずみ
基層下面	76 μ	$\leq 101 \mu$
上層路盤下面	165 μ	$\leq 229 \mu$

表-4.12 多層弾性理論による構造評価結果
(R4年度)

着目点	FWD試験結果より求めた引張りひずみ圧縮ひずみ	舗装設計期間10年における許容ひずみ
基層下面	58 μ	$\leq 101 \mu$
上層路盤下面	211 μ	$\leq 229 \mu$
施工基盤 As 下面	59 μ	$\leq 194 \mu$

透材を除去した舗装構造に改良した。

試験施工区間全域にわたり計78測点にてFWD試験を実施した。FWD試験で得られたたわみ量から逆解析により各層の弾性係数を求めた。求めた弾性係数を用いて多層弾性理論に基づく解析ソフト(GAMES)により、アスファルト混合物層下面の引張ひずみおよび路床面の圧縮ひずみを求めた。表-4.12に多層弾性理論による構造評価結果を示す。

改良した舗装構造において、各着目点の引張ひずみおよび圧縮ひずみは交通量区分N7(疲労破壊輪数:3,500万回/10年)の許容ひずみを満足することが確認できた。

(3) 疲労輪荷重走行試験(R5年度)

R4年度に試験施工で構築した無線給電道路において、荷積みした総重量約20トンの実大型車を繰り返し走行させて、強度および耐久性を検証した。

a) 強度・耐久性の評価方法

荷重走行試験では、延べ40日間で計46,500回(5t換算輪数33,494輪/1方向)の繰り返し走行を行ない、試験前・試験中・試験終了時に舗装強度と耐久性を評価した。強度・耐久性の評価方法および試験時期を表-4.13に記す。

評価した測点は大型車の加速・減速の影響を受けないように、試験施工箇所の中央部、±2.5m、±5.0mの5測点とした。また、FWD試験の測定は非わだち部(以下、BWPとする)とわだち部(以下、IWPとする)とした。

表-4.13 評価方法および試験時期

評価・試験名	試験時期 (回)	評価項目
電磁波レーダ測定	0	送電電極の変形
MRPによる プロファイル測定	1,000	舗装表面の 形状の変化
	2,000	
	4,000	
クラック調査	8,000	舗装表面の クラック有無
	16,000	
FWD試験	32,000	舗装体の支持力
	46,500	

b) 荷重走行試験の方法

荷重走行試験には碎石を積載して総重量約20トンの大型10tonダンプを用いた。荷重走行試験の条件を表-4.14、荷重走行試験状況を図-4.40に示す。

表-4.14 荷重走行試験条件

平均車速度	3km/h
平均車両重量	19,707kg
平均最高気温	17℃
平均最低気温	6℃



図-4.40 荷重走行試験状況

荷重走行回数から5トン換算輪数を算出するため、荷重走行試験に用いた車両の軸重は走行試験実施中に軸重計を用いて測定した。



図-4.41 軸重測定状況

c) 路面性状および支持力試験結果

① 電磁波レーダ測定

荷重走行試験による送電電極の位置や形状の変化を電磁波レーダによる非破壊調査で確認した。舗装表面に生じたわだち掘れの影響を除去するために、測定箇所にはアクリル板を敷いて測定を行った。調査の結果、いずれの測点においても、荷重走行試験の前後で送電電極の位置ずれや変形が生じていないことが確認できた。電磁波レーダ測定状況を図-4.42、電磁波レーダ測定結果を図-4.43に示す。



図-4.42 電磁波レーダ測定状況

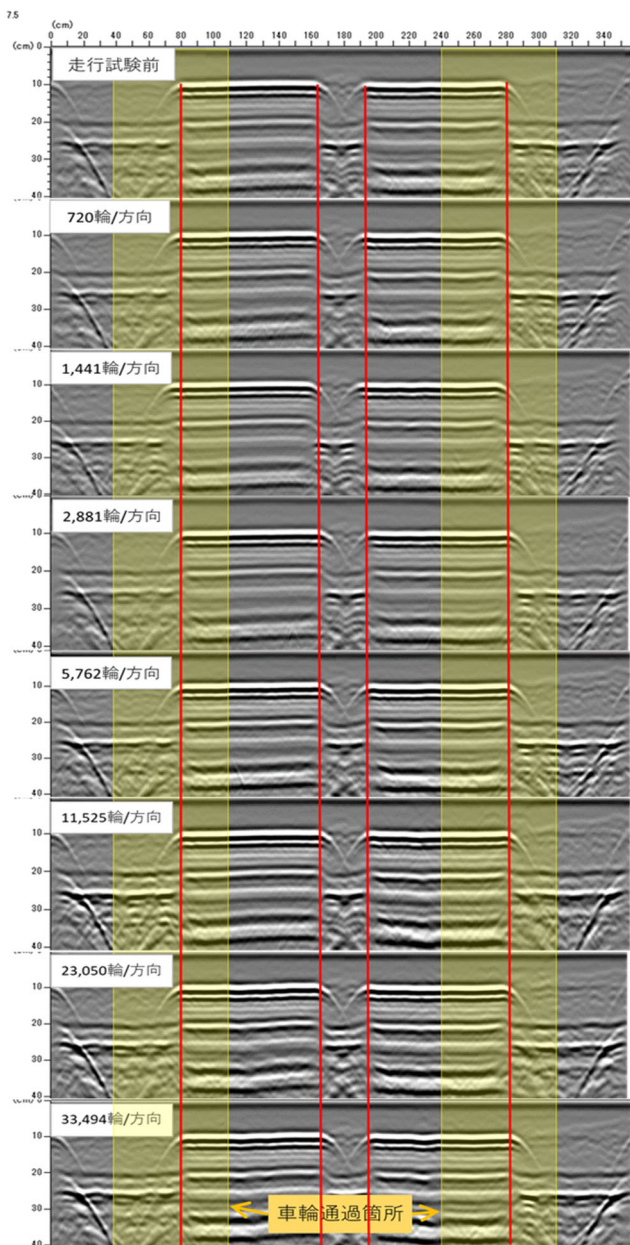


図-4.43 電磁波レーダ測定結果

② MRPによるプロファイル測定

横断プロファイル測定器を用いて舗装面の形状の変化を測定した。横断プロファイル測定状況を図-4.44、測定結果を図-4.45に示す。



図-4.44 横断プロファイル測定状況

全ての測点において、荷重走行試験前後で横断形状に変化はなかった。5トン換算輪数33,494輪/1方向の走行履歴を受けてもセラミック骨材を用いた特殊アスファルト混合物の塑性変形や特殊な構造を持つ雨水浸透材脚部の座屈等の構造的破壊は生じないことが検証された。

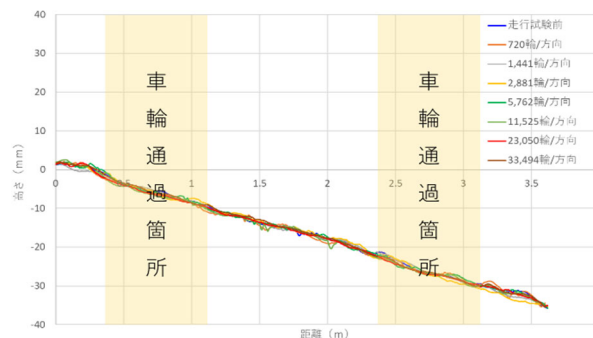


図-4.45 横断プロファイル測定結果

③ クラック調査

荷重走行試験終了後、舗装表面のクラックの発生状況を目視観察で調査を行った。クラック調査の結果、送電電極が設置されているIWPに損傷は確認されず、舗装体内に送電電極が埋設されていることによるリフレクションクラックや瀝青シートによる層間のズレは生じなかった。クラック調査状況を図-4.46、荷重走行試験後の舗装表面を図-4.47に示す。



図-4.46 クラック調査状況

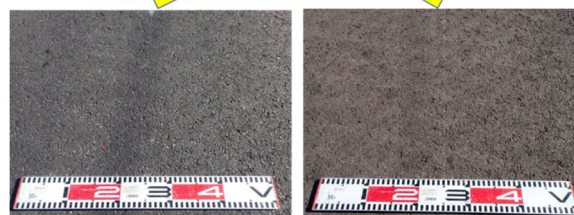
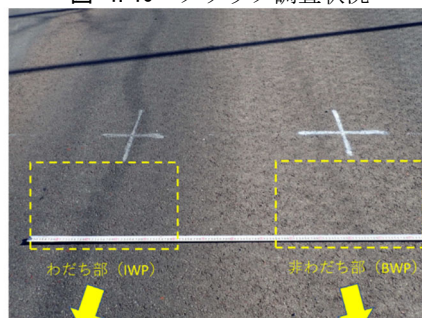


図-4.47 荷重走行試験後の舗装表面

④ FWD試験

無線給電道路の支持力変化を確認するためFWD試験を実施した。FWD試験はBWPとIWPで実施した。FWD試験状況を図-4.48に示す。



図-4.48 FWD試験状況

載荷走行試験時に車輪が通過しないBWPは負荷が小さく、支持力（たわみ量）の変化はないと推定される。

アスファルト混合物は温度の変化により性状が変化することから、FWD試験での実測たわみ量は温度変化の影響を受ける。支持力が変化しないと仮定したBWPのたわみ量は測定時の気温により変化が認められたため、試験時毎のBWPたわみ量が同一になるように、試験時期毎にBWPたわみ量の変化率を求め、IWPたわみ量を補正した。

載荷走行試験によるIWPたわみ量（補正後）の変化を図-4.49に示す。

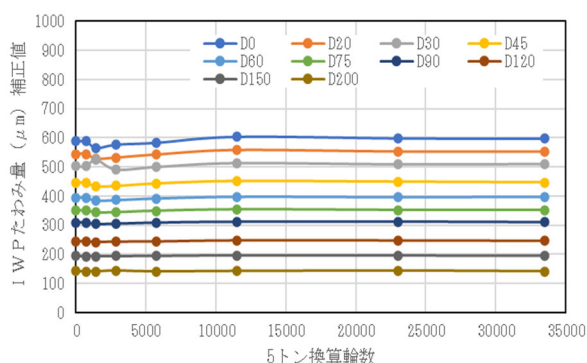


図-4.49 走行試験にIWPたわみ量の変化

舗装体全体の支持力を示すD₀たわみ量は載荷走行試験前後で同程度の値であり、それ以外の測定位置のたわみ量についても変化は認められなかった。5トン換算輪数33,494輪/1方向の載荷走行ではあるが支持力の低下は生じていないことが検証された。

d) まとめ

3年間の材料や舗装構造に関する検討で改良した無線給電道路の舗装断面は、多層弾性理論で交通量区分N7の疲労破壊輪数（3,500万回/10年）に対して十分な耐久性があると評価された。また、大型自動車による載荷走行に対しても構造破壊は認められず、所定の耐久性を有していることが確認された。

4.4 無線給電道路の設計手法の構築

(1) 設計の考え方

無線給電道路には一般的な舗装に用いられない強化プラスチック製の雨水浸透材が下層路盤に採用されているため、T_A法による構造設計法を採用することが困難である。内部に空洞を有する雨水浸透材を下層路盤に採用しているが、雨水浸透材の連結方法を改良したことで一体性が向上し均一な層と見做することができる。無線給電道路を構成する舗装材料の弾性係数、ポアソン比等の材料特性値、舗装各層の厚さおよび供用条件を設定して多層弾性理論で構造評価を行う。

多層弾性理論に基づく構造評価で着目する点は「基層下面」、「上層路盤（特殊アスファルト安定処理層）下面」および「施工基盤の下層（密粒度アスファルト混合物層）下面」の引張りひずみ、および「路床上面」の圧縮ひずみとする。

(2) 設計方法（多層弾性理論）の標準化

解析条件（舗装構成、舗装各層の材料物性値等）や設計条件（舗装計画交通量、設計期間）を設定し、多層弾性理論に基づく解析プログラムを用いて、舗装表面に大型車両相当の荷重49kNが載荷された時の各着目点のひずみを求め、各着目点における許容ひずみと比較し評価を行う。多層弾性理論による構造評価のフローを図-4.50に示す。

無線給電道路を構成する舗装材料物性値（弾性係数、ポアソン比）や層間のすべり特性は、アスファルト混合物および路盤材・路床土のレジリエントモデュラス試験方法より求める方法やFWDによるたわみ量測定結果をもとに逆解析で推定する方法で求められる。無線給電道路を構成する材料の物性値（例）を表-4.15に示す。

表-4.15 無線給電道路を構成する材料の物性値（例）

舗装材料	弾性係数 (MPa)	ポアソン 比
特殊As混合物	5,000	0.35
特殊As安定処理	3,000	0.35
雨水浸透材	35	0.10
排水性As混合物	5,000	0.35
密粒度As混合物	5,000	0.35
粒状材料	300	0.35
路床	30	0.40

基層と上層路盤の間に平滑な送電電極を設置するが、瀝青シートを敷設することで層間の付着を確保できることが室内試験で検証され、全ての層間ですべりは生じないことが確認されている。

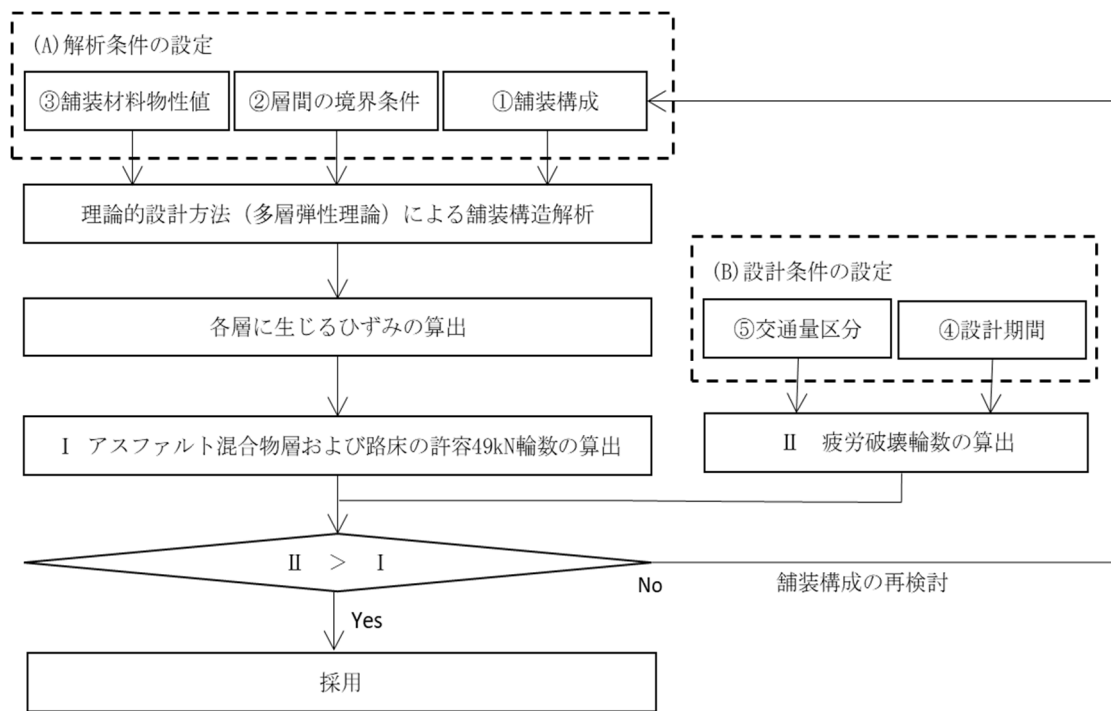


図-4.50 多層弾性理論による舗装構造設計のフロー

FWDによるたわみ量測定結果から材料の弾性係数を推定する場合、変形追従性が優れる瀝青シートが塑性変形することで解析のたわみ曲線とFWDの実測たわみ曲線の一致度が低下する可能性がある。瀝青シートの材料特性を考慮した境界条件の設定が必要である。

(3) 多層弾性理論の妥当性の検討(FEMによる照査)

無線給電道路では、排水機能を持たせた下層路盤として雨水浸透材を設置するが、図-4.51に示すように163mm×163mm、厚さ20mmの平板とその四隅に34mm×34mm、高さ80mmの柱が一体となった形状であり、内部に空間を有する特殊構造をしている。

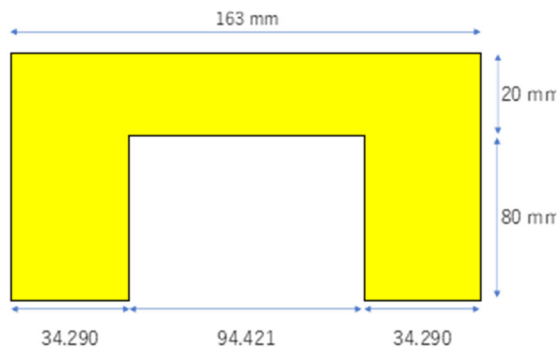


図-4.51 雨水浸透材の形状

多層弾性理論では、特殊な空間構造をもつ雨水浸透材についても均一な層と仮定して、材料の特性値（弾性係数、ポアソン比等）を設定して構造評価を行なっている。

雨水浸透材のような内部空間も構造モデルの一部として扱う有限要素法（以下、3DFEMとする）により改めて舗装構造を照査し、多層弾性理論に基づく構造評価の妥当性を検証した。3DFEMによる構造評価フローを図-4.52に示す。

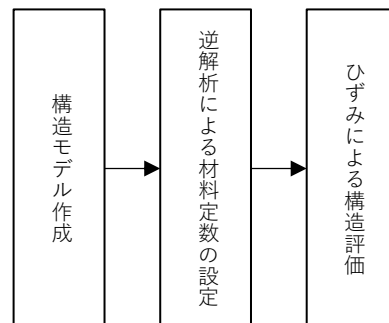


図-4.52 3DFEMによる構造評価のフロー

a) 構造モデルの作成

3DFEMによる構造解析では、無線給電道路を構成する物体を小さな要素に分割し、荷重が加わることで物体を形作っている多数の要素が個々に変形することで物体全体の変形（ひずみ）を再現する。

無線給電道路の構造モデルを表-4.16、図-4.53および図-4.54に示す。

b) 境界条件の設定

表層・基層（特殊アスファルト混合物）と上層路盤（特殊アスファルト安定処理）の層間に敷設した送電電極（SUS304、上下面を瀝青シートで被覆）の付着条件は未知パラメータとした。また、上層路盤（特殊アスファルト安定処理）と下層路盤（雨水浸透材）の層間の塩ビ板（塩ビ板、瀝青シート）についても未知パラメータとした。

表-4.16 構造モデル

舗装構成		厚さ (mm)
表層	特殊 As 混合物	50
基層	特殊 As 混合物	50
送電電極	SUS304+瀝青シート	—
上層路盤	特殊 As 安定処理	100
塩ビ板	塩ビ板+瀝青シート	—
下層路盤	雨水浸透材	100
施工基盤	ポーラス As 混合物	50
	密粒度 As 混合物	50
	粒度調整碎石	80
路床		300

※送電電極、塩ビ板は境界層

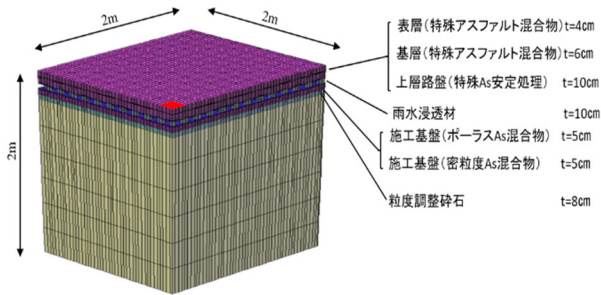


図-4.53 構造モデル（全体図）

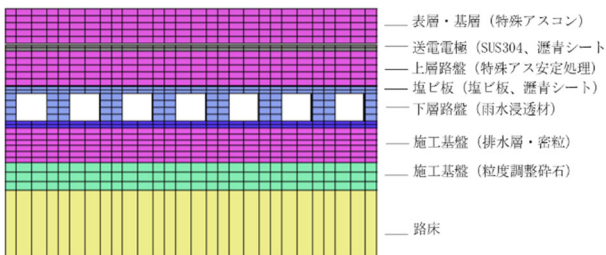


図-4.54 構造モデル（詳細図）

c) 逆解析による各層の弾性係数、ばね定数の設定

無線給電道路を構成する各層の弾性係数や層間の付着状況（ばね定数）を未知パラメータとし、ランダムに発生させた未知パラメータの組合せ毎に解析たわみを求める。解析たわみとFWDで測定した実測たわみを比較し、実測たわみに最も近い解析たわみを抽出し、その解析たわみのパラメータに対応した各層の弾性係数、各層間のばね係数を逆解析で求めた。各層の弾性係数を表-4.17に示す。解析たわみとFWD実測たわみが全体的に良い相関を有しており、3D FEMに基づく逆解析は妥当な結果であると判断した。

下層路盤（雨水浸透材）を均一な層として仮定し多層弾性理論による構造モデルで算出した弾性係数と比較すると、下層路盤（雨水浸透材）以外の弾性係数は同等な値となった。下層路盤（雨水浸透材）の弾性係数は多層弾性理論による構造モデルの方が室内試験結果（67MPa）に近い値である。

表-4.17 各層の弾性係数（逆解析結果）

舗装構成		各層の弾性係数 (MPa)	
		3D FEMによる構造モデル	多層弾性理論による構造モデル
表層・基層		7,092	5,959
上層路盤		3,199	3,120
下層路盤		6,823	38
施工基盤	排水性 As	5,112	4,661*
	密粒度 As	6,706	
	粒状路盤	718	—
路床		28	50

※逆解析プログラムの舗装構成層数が最大5層のため統一した

境界条件を未知のパラメータとした送電電極と塩ビ板はともに付着していないと判定され、多層弾性理論による逆解析と同様な結果となった。

d) 構造評価

逆解析により求めた材料定数を用いて、49kN 輪荷重に対する舗装体内の引張りひずみ ($\epsilon_x = \epsilon_y$) および圧縮ひずみ (ϵ_z) を求めた。3D FEMに基づく構造評価結果を表-4.18、舗装内のひずみ分布を図-4.55

表-4.18 3D FEMに基づく構造評価結果

着目点	FWD 試験結果より求めた引張りひずみ 圧縮ひずみ	舗装設計期間10年における許容ひずみ
基層下面	142 μ	$\leq 116 \mu$
上層路盤下面	109 μ	$\leq 196 \mu$
施工基盤 As 下面	44 μ	$\leq 120 \mu$
路床上面	168 μ	$\leq 270 \mu$

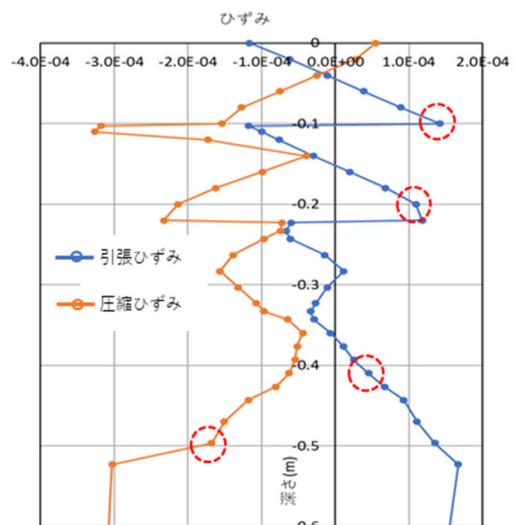


図-4.55 舗装内のひずみ分布

に示す。

基層下面の引張ひずみが許容ひずみを満足しない結果となった。3D FEMで行った逆解析において基層下面の層間には付着なしと評価されたことで基層下面のひずみが大きくなったと考えられる。室内試験では基層と上層路盤の層間の引張試験結果では付着が確認されていることから、3D FEMによる構造評価でも材料特性や境界条件を適切に設定する必要がある。

多層弾性理論による構造モデルで求めた各層の弾性係数と3D FEMによる構造モデルで求めた値を比較すると同程度の値であり、境界条件を適切に設定することで多層弾性理論による構造評価は妥当であるといえる。

4.5 無線給電道路の維持管理手法の検討

(1) 維持管理手法の検討

無線給電道路の給電効率を長期にわたり確保するための維持管理方法について検討を行った。

無線給電道路システムの損傷ケースおよび点検、補修方法を以下に示す。

① 舗装の損傷（ひびわれ、わだち掘れ、ポットホール）

日常・定期点検による路面性状調査により損傷が確認された場合、損傷の程度により維持修繕方法を決定する。損傷が軽微な場合はシール材注入工法、ポットホール充填工法等による補修を行う。損傷が進行している場合は切削オーバーレイによる修繕を検討する。

② 送電電極の損傷（送電電極の変形）

伝送効率の日常点検において異常が確認された場合、電磁波レーダによる舗装体内調査等で損傷箇所や損傷原因を特定する。送電電極の交換が必要な場合、送電電極上部のアスファルト混合物を切削、送電電極と送電ケーブルを分離後、送電電極を撤去・再設置を行う。

③ 送電ケーブルの損傷（断線、漏電）

日常点検による電力監視において断線、漏電が確認できた場合、損傷箇所や原因を特定する。送電電極を撤去後、送電ケーブルや送電電極接合部を交換または修理を行い、送電電極を再設置する。

(2) 維持修繕方法（切削オーバーレイ）の有効性確認

無線給電道路は舗装表面の損傷（ひびわれやわだち掘れ）から舗装体内に雨水が浸透すると給電効率が低下する。送電電極の上部を定期的に切削オーバーレイで更新することで無線給電道路の機能を保ちつつ、長寿命化を図ることができる。また、維持管理費用を低減させることが可能となる。

令和3年度に試験施工で構築した幅3.5m×長さ5mの実物大試験体において、路面切削機を用いて切削を行ない、切削オーバーレイによる維

持管理の有効性を確認した。

切削深さは、舗装表面から8cm（送電電極の上部に基層を2cm残置）とし、切削面に骨材の浮きや切削にともなうひび割れ等の発生がないかを目視により観察した。また、切削前後の舗装体内の状況を非破壊調査である電磁波レーダで測定し、切削の衝撃による送電電極の変形・移動が生じていないか確認した。

切削後の舗装表面の状況は図-4.57に示す。切削後の舗装表面には骨材の浮きやひびわれ等は見られず、一般的な舗装の切削路面状況と同様であった。



図-4.56 切削状況



図-4.57 切削後の舗装表面

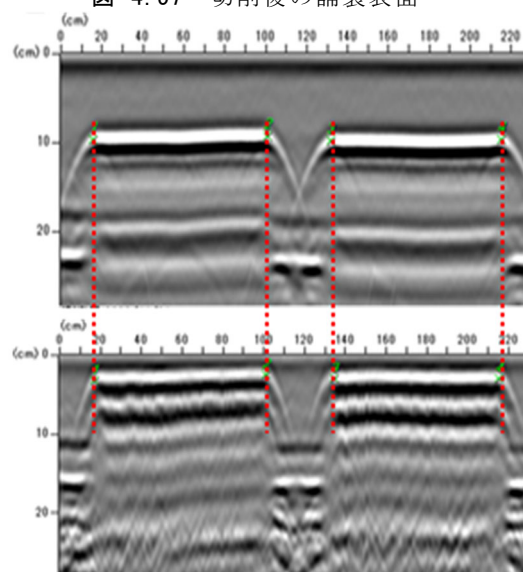


図-4.58 電磁波レーダによる測定結果
(上段：切削前，下段：切削後)

切削前後に送電電極の位置や形状を把握するために実施した電磁波レーダによる測定の結果を図-4.58に示す。切削による送電電極の位置や形状の変化は確認できなかった。

無線給電道路においても、在来の切削オーバーレイ工法による維持管理が可能であると判断した。

(3) 特殊アスファルト混合物のリサイクル性の検討

無線給電道路の表層・基層（特殊アスファルト混合物）および上層路盤（特殊アスファルト安定処理路盤）にはセラミック骨材を使用している。セラミック骨材は市販されているが、特殊品であるため量産されておらず、将来的な維持管理を想定すると、表層や基層が撤去された場合でも、再び特殊アスファルト混合物として再利用できることが望ましい。

前述の切削した特殊アスファルト混合物を 110℃ に設定した熱風循環乾燥炉で 65 時間促進劣化させて再生骨材を製造した。旧アスファルトの針入度は 21 (1/10mm) である。再生骨材の配合率 25% と 50%

表-4.19 再生特殊アスファルト混合物性状

項目	測定値	目標値
マーシャル安定度 (kN)	12.56	4.9以上
残留安定度 (%)	91.4	75以上
動的安定度 (回/mm)	6,110	3,000以上



図-4.59 混合物性状試験（マーシャル安定度試験）



図-4.60 混合物性状試験(ホイールトラッキング試験)

で再生特殊アスファルト混合物を製造し、マーシャル安定度と残留安定度および動的安定度を確認し、セラミック骨材の再生骨材としての適用性を評価した。

再生特殊アスファルト混合物の混合物性状を表-4.19に示す。セラミック骨材を用いた特殊アスファルト混合物においても、一般的なアスファルト混合物と同様な混合物性状であり、再生骨材としてリサイクルできることが確認できた。

4.6 コストダウンに関する検討

無線給電道路に用いる材料費の内、特殊アスファルト混合物の費用が約 70% を占め、次に雨水浸透材が 16% となっている。特殊アスファルト混合物が高価な理由は主要材料であるセラミック骨材が市販品ではあるが量産品ではなく特注品のためである。特に特殊アスファルト混合物の材料コストを削減する方策について検討を行った。

(1) 一般骨材による置換

無線給電道路の表層・基層（特殊アスファルト混合物）と上層路盤（特殊アスファルト安定処理路盤）には、特注品であるセラミック骨材を 100% 使用しているが、一部を一般的な砕石と置換することによりコストダウンが期待できる。

セラミック骨材と一般の砕石の配合比率を変化させて、アスファルト混合物の配合設計を行った。配合割合を変化させたアスファルト混合物は密粒度アスファルト混合物の品質規格を満足するものとした。セラミック骨材と一般砕石の配合比率を変化させて配合したアスファルト混合物の断面を表-4.20に示す。

表-4.20 配合比率毎の断面

セラミック骨材：一般骨材		
100 : 0	90 : 10	80 : 20
70 : 30	60 : 40	50 : 50
0 : 100		

a) マーシャル安定度試験結果

セラミック骨材と一般骨材の配合比率を変化させたアスファルト混合物のマーシャル安定度を測定した。測定結果を図-4.61に示す。

セラミック骨材と一般骨材の配合比率を変化させてもマーシャル安定度に大きな変化はなく、規格値4.9kNを満足することを確認した。

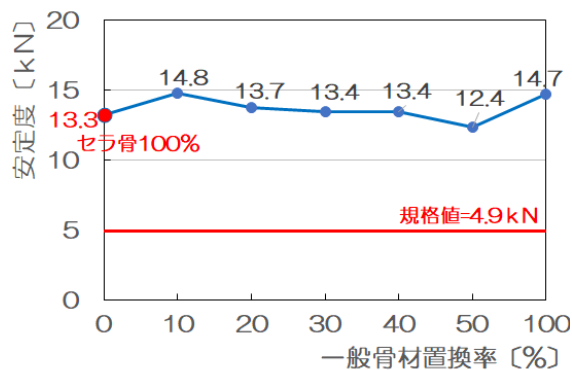


図-4.61 一般骨材置換率とマーシャル安定度

b) 電気特性の測定結果

セラミック骨材と一般骨材の配合比率を変化させたアスファルト混合物の電気的特性（誘電率と誘電正接）を測定した。図-4.62に誘電率の関係、図-4.63に誘電正接との関係を示す。

特殊アスファルト混合物中に占める一般骨材の割合が増えるに従い、誘電率および誘電正接の値が増加する傾向にあることが確認された。

誘電率、誘電正接の算出結果を用いて、道路延長20mとした場合の伝送効率をシミュレーションした。伝送効率のシミュレーション結果を図-4.64に示す。

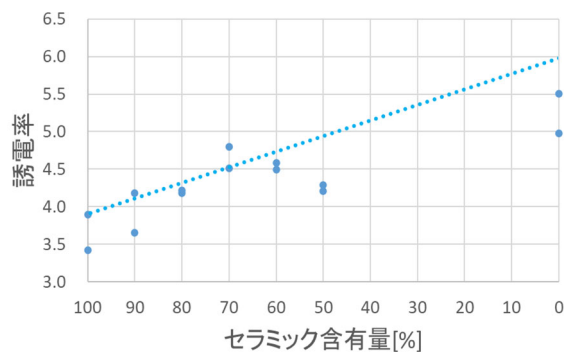


図-4.62 誘電率とセラミック骨材配合率の関係

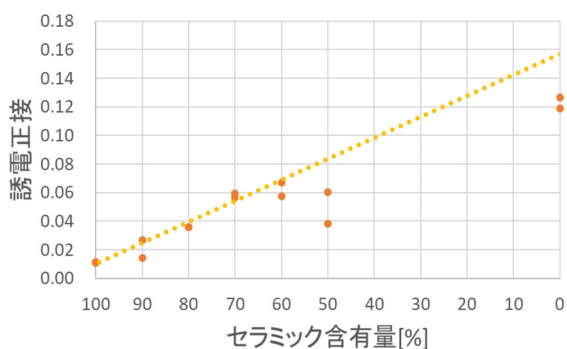


図-4.63 誘電正接とセラミック骨材配合率の関係

セラミック含有量が少なくなるほど道路効率が低くなり、一般骨材によるセラミック骨材の置換は電気特性が低下するため難しいことが確認できた。

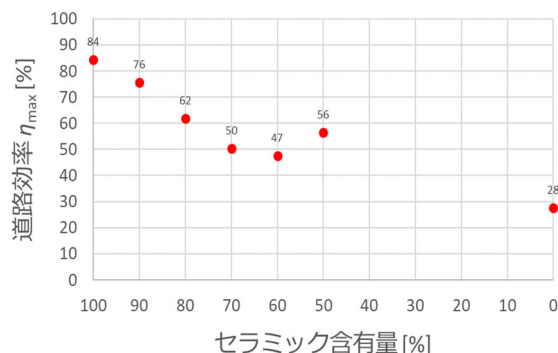


図-4.64 道路効率とセラミック含有率の関係

(2) セラミック骨材の製造コスト縮減

セラミック骨材はセラミックの原料を1,000℃以上の高温で焼成して緻密で非常に硬いセラミック塊を製造する。そのセラミック塊を破碎および分級を繰り返して任意の粒度のセラミック骨材を製造している。

今回の試験施工では、粒度が異なる6種類のセラミック骨材を使用するため、製造に時間と手間を要している。セラミック骨材の製造方法やアスファルト混合物の一元化を図ることがコスト縮減の有効な方策となる。

a) 骨材粒度範囲の見直し

セラミック骨材の種類は粒度区分により細分化されて商品化されている。粒度の範囲を変更してセラミック骨材の種類を減らすことで、破碎および分級の工程が省力化されコストの縮減が可能となる。

b) 混合物種類の一元化

上層路盤に採用している特殊アスファルト安定処理を表層および基層と同様の特殊アスファルト混合物に変更することで使用するセラミック骨材の種類を減らすことができる。また、混合物製造時に発生するロスが減少することでコストの低減を図ることができる。

上層路盤に表面性状が緻密な材料を用いることで水の浸透抑制となり給電効率の改善も期待できる。

(3) セラミック骨材の代替骨材の探索

無線給電道路の表層・基層および上層路盤に用いる骨材は電気を通しにくい絶縁性が高い物質が適していると考えられる。セラミック系以外で絶縁性が高く、均等質、清浄、強硬で耐久性がありアスファルト混合物の骨材として採用できる代替骨材を探索することが今後の課題と言える。

(4) 施工方法の改善

無線給電道路の施工では人力施工が主体となる雨水浸透材の敷設や送電電極の敷設に多くの時間を費やしている。

コストダウンを図るためには、以下に述べるような施工方法の改善も有効な方策と考えられる。

a) 雨水浸透材の施工効率改善

上部層の施工時にズレ等が生じないように雨水浸透材はグラウンドに接着剤で固定している。固定箇所を半数程度に削減することで、施工人員を4割程度削減することができた。雨水浸透材の形状等を改良することで施工効率を更に改善することは可能と考えられる。

b) 送電電極の施工効率改善

試験施工では、プロセスチェックとして通電試験で電気特性を確認しながら送電電極を設置している。所定の電気特性が確保できる送電電極の設置方法をマニュアル化することで、施工時間や施工人員の削減が可能となると考えられる。

4.7 無線給電道路の設計・施工・維持管理に関する基本仕様の整理

(1) 設計

無線給電道路には一般的な舗装に用いられない強化プラスチック製の雨水浸透材が下層路盤に採用されているため、 T_A 法による構造設計を採用するところが困難である。

特殊な構造を持つ雨水浸透材についても連結方法を改良し一体性を確保することで、均一な層とみなすことができる。

無線給電道路は理論的設計法（多層弾性理論）による舗装構造設計を行う。

無線給電道路を構成する材料の特性値（弾性係数、ポアソン比）、層間すべり特性を適切に選定する必要がある。

a) 解析条件の設定

無線給電道路の舗装構成および厚さは給電効率に大きな影響を与えるため、構造設計に用いる舗装断面は標準断面を採用する。標準断面を表-4.21に示す。

無線給電道路における境界条件は各層間ですべりは生じないものと設定する。

各層の材料特性（弾性係数、ポアソン比）は室内試験で求める方法やFWD試験によるたわみ量測定結果をもとに逆解析で推定する方法がある。表-4.22に各層の弾性係数やポアソン比の例を示す。

b) 舗装構造の評価

解析条件を用いて多層弾性理論による舗装構造解析を行い、無線給電道路では以下の着目点についてひずみを求め、許容49kN輪数を算出する。

①送電電極が設置されている基層下面の引張ひずみ

②上層路盤層（アスファルト安定処理）下面の引張ひずみ

③路路上面の圧縮ひずみ

交通量区分と設計期間から疲労破壊輪数を求め、許容49kN輪数と疲労破壊輪数から舗装材料および舗装構成の妥当性を評価する。

舗装構成の見直しが必要な場合は、給電効率に大

きな影響を与えるグラウンドより上層の舗装断面（表層から下層路盤）は変化させず、施工基盤の舗装断面で調整する。

表-4.21 構造設計に用いる標準断面

舗装構成		舗装材料
区分	層厚(mm)	
表層	50	特殊アスファルト混合物
基層	50	特殊アスファルト混合物
上層路盤	100	特殊アスファルト安定処理路盤材
下層路盤	100	雨水浸透材
施工基盤	50	アスファルト混合物
	50	アスファルト混合物
	80	粒状路盤

表-4.22 各層の弾性係数やポアソン比の例

舗装材料	弾性係数(MPa)	ポアソン比
特殊アスファルト混合物	5,000	0.35
特殊アスファルト安定処理	3,000	0.35
雨水浸透材	35	0.10
ポーラスアスファルト混合物	5,000	0.35
密粒度アスファルト混合物	5,000	0.35
粒状材料	300	0.35
路床	30	0.40

(2) 施工

無線給電道路は給電性能の向上を目的とし、表層、基層及び上層路盤にはセラミック骨材を用いた特殊アスファルト混合物を採用し、舗装体内への水の浸透を抑制するために緻密な舗装表面を持つ必要がある。また、舗装体内に浸透した水を速やかに舗装体外に排出する構造とする。

交通量区分 N_T の供用条件にも対応できる舗装構造とする。

無線給電道路の表層、基層、上層路盤および施工基盤は一般的な舗装と同様に施工を行うことができるため、無線給電道路特有の工種について明記する。

a) グラウンド

グラウンドは給電効率を維持するために施工基盤と

路盤の界面に設ける金属板である。金属板は無線給電道路内に侵入した水を施工基盤の排水層に流出させるために有孔板とする。施工時の滑動、変形を予防するために施工基盤にコンクリート釘や接着剤等で固定する。

b) 雨水浸透材（下層路盤）

雨水浸透材は送電電極とグラウンドの間に水分が滞留することを抑制するため、空隙が大きく透水能力を有し、誘電特性に優れる材料を用いる。

無線給電道路の車線全幅に敷設する。また、施工時のズレや変形を予防するためにグラウンドに接着剤等で固定する。

c) 送電ケーブル

送電ケーブルを下層路盤内に配線する場合は、送電電極と送電ケーブルを接続する箇所の雨水浸透材に削孔を行う。送電ケーブルは送電電極設置高さまで立ち上げ、下層路盤内に配線した送電ケーブルは動かないようにグラウンドに固定する。

d) 送電電極

送電電極は車線中心線の左右に2列設置する。また、送電電極は車線中心線に対して平行とし、送電電極間の距離は一定とする。

送電電極は基層施工時にズレ等が生じないように釘等で固定する。

送電電極の端部と送電ケーブルを連結する。腐食等による破断が生じないように連結材料および連結方法には注意が必要である。

e) 降雨対策

上層路盤表面に水が滞水すると、舗装体内に水が侵入し給電効率低下の要因となる可能性がある。上層路盤舗設から基層を舗設するまでに時間があく場合は降雨対策をとる必要がある。

瀝青シートが送電電極と溶着する前に雨水等が混入すると、水分が送電電極周辺に残留し、給電効率低下や送電電極の腐食の要因となる可能性がある。

瀝青シートの施工から基層の舗設までに降雨等が予想される場合は、施工の中止または防水シート等による養生対策を実施する。

(3) 維持管理

無線給電道路は舗装体内に水が浸透すると給電効率の低下するため、舗装表面に発生した損傷は適切に維持・修繕を行う必要がある。また、定期点検により送電効率の低下が確認された場合は、調査により原因を明確にして維持・修繕を行う。

無線給電道路は送電電極や雨水浸透材など構築するのに多大な費用と労力が必要である。損傷が進行しないように定期的な点検および損傷が軽微な状態で修繕や補修を行うことが重要である。

a) 舗装の損傷（ひびわれ、わだち掘れ、ポットホール）

路面性状の低下や軽微な損傷が生じたときは、無線給電の機能を維持するため、シール材注入工法や送電電極の上部を定期的に切削オーバーレイで修繕することで持続的な供用が可能になる。

b) 送電電極の損傷（送電電極の変形）

伝送効率の日常点検により異常が確認された場合、電磁波レーダによる舗装体内調査等で損傷箇所や損傷原因を特定する。送電電極の交換が必要と判断された場合は、送電電極上部のアスファルト混合物を切削、送電電極と送電ケーブルを分離後、送電電極を撤去・再設置を行う。

c) 送電ケーブルの損傷（断線、漏電）

構造破壊による雨水浸透材（下層路盤）の損傷や日常点検による電力監視において断線、漏電が確認できた場合、損傷箇所や原因を特定する。送電電極を撤去後、送電ケーブルや送電電極接合部を交換または修理を行い、無線給電道路を再構築する必要がある。

第5章 路車連携による給電制御技術の開発に向けた検討

5.1 給電制御システムの概要

道路から得られる情報によって無線給電設備の制御を行うための「路車連携による給電制御」に関する基礎実験を行い、適用可能性を検討した。路車連携による給電制御の基本概念を図-5.1 に示す。無線給電道路に磁石 (TRUSCO 製 TF80RA : 外形 80mm×厚み 10mm) を設置し、磁場センサを取付けた車両 (トレーラ) を走行させた。

トレーラには磁場センサの測定値をモニタリングし通信機能を有する車両側 PC を搭載する。

位置検知システムとして、トレーラの地上高 100mm の高さに磁場センサ (Xsens 社製) を設置し、測定データ (磁場強度) を通信機能を有する車両用 PC でモニタリングする。図 5-2 に位置検知システムの実験状況を示す。一方、トレーラが通過する道路の上には、直径 80mm の磁石を 150mm 間隔で道路表層から 40mm の深さに埋設した。図-5.3 に埋設位置の平面図および断面図を示す。

磁石の埋設方法を以下に記載する。

- ① $\phi 100$ のエンジンコアカッターで所定の深さ ($D=40\text{mm}$) まで削孔
- ② 削孔底端に残った As 混合物を練り匙とトーチャバーナーを使って除去し、底端 (基層天端) を平滑に仕上げる
- ③ コアカット時に発生した水分を、ウエス・トーチャバーナー等を使い入念に乾燥させる
- ④ センサ用磁石の表裏をよく確認し設置
- ⑤ コア穴側面にタックコートを散布
- ⑥ 予め室内で混合しておいた特殊アスファルト混合物で、手突きタンパーを用いて 2 層に分け締固めならめ戻す
- ⑦ 天端まで埋め戻ったところで、ジョイント部は、熱した練り匙の裏面で入念にこすり止水を図る。

車両用 PC から送信した検知データは、実験環境において構築した無線 LAN のルータから MQTT (Message Queue Telemetry Transport) プロトコルで電源コントローラに向けて信号を送信する。電源コントローラは、高周波電源に接続される直流電源に対して ON/OFF 信号を発信する制御用 PC である。

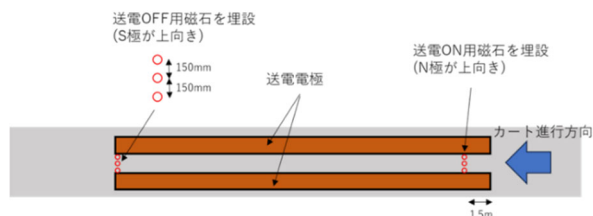
ラは、高周波電源に接続される直流電源に対して ON/OFF 信号を発信する制御用 PC である。



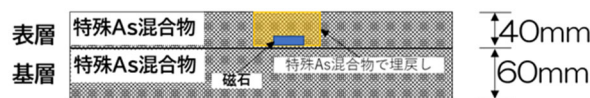
図-5.1 位置検知および給電制御の概念



図-5.2 位置検知システムの実験状況



埋設位置平面図

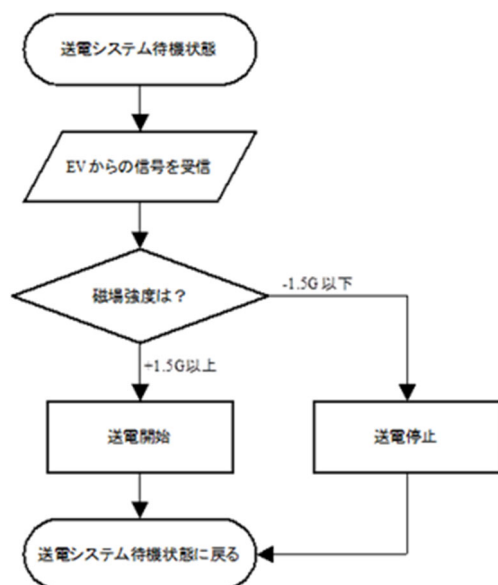


埋設位置断面図

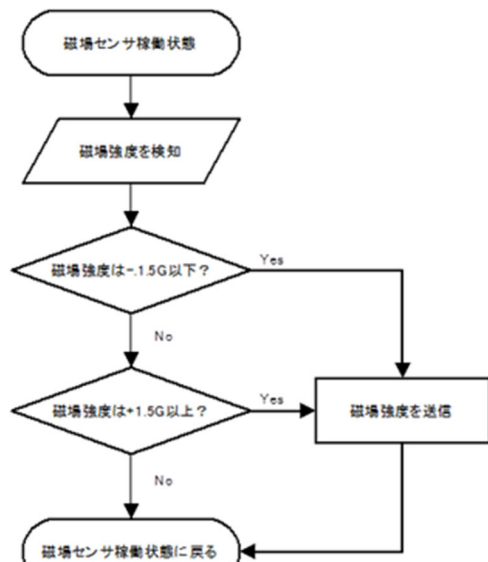
図-5.3 磁石の埋設位置及び断面構造

5.2 路車連携による給電制御実験

送電および受電システムの動作フローを図-5.4に示す。トレーラ底面に取り付けた磁場センサは、送電 ON 用の磁石上を通過時に+1.5G 以上の直流磁場を感知すると、送電 ON の要求信号を車両用 PC から電源コントローラに発信する。電源コントローラはその信号を受け無線給電を開始する。そのままトレーラが無線給電道路上を走行して、送電 OFF 用の磁石上を通過時に-1.5G 以下の磁場を感知すると、送電 OFF の要求信号を車両用 PC から電源コントローラに発信する。電源コントローラはその信号を受け無線給電を終了する。



① 送電側システム



② 受電側システム

図-5.4 送電および受電システムの動作フロー

高周波電源の送電電力を 5kW、トレーラの移動速度を時速 20km とした条件において、給電制御システムの動作を検証した。

実験の結果、トレーラが送電 ON 用磁石の前の位置では送電および受電電力は 0W となり、送電 ON 用磁石を通過すると電力が入力され、送電 OFF 用磁石を通過すると再度送電および受電電力が 0W となることを確認した。この結果より本給電制御システムによる送電 ON および送電 OFF の給電制御が可能であることおよび、無線給電道路通過中にトレーラ側で無線給電による受電を確認し本システムの実用性が示された。実験時の状況を図-5.5に示す。



① 走行中給電(道路進入前)



② 走行中給電(走行中)



③ 走行中給電(道路通過後)

図-5.5 走行中給電実験の状況

第6章 漏えい電磁界抑制・対策技術開発に向けた検討

施工した無線給電道路における無線給電実験時の漏えい電磁界を測定し、運転者及び歩行者への影響および他の無線システムへの干渉など電波法への適合可能性を評価した。さらに、無線給電を安全に利用するための漏えい電磁界に関する基本仕様を整理した。

6.1 近傍電磁界に関する検討

無線給電時に、車両内、車両近傍（車両外）、無線給電道路上（車両外）における人体への影響を評価するため、平成27年（2015年）1月21日一部答申における報告書に記載されている「WPTシステムの電波防護指針への適合性確認を行うための評価方法」に則り、近傍電磁界に関する評価を行った。評価基準を以下に示す。

- ・電界（刺激作用に関する指針）：一般環境：83V/m、管理環境：170V/m
- ・磁界（熱作用6分平均に関する指針）：一般環境：322mA/m、管理環境：722mA/m

測定イメージを図-6.1に示す。トレーラは道路近端側に固定する。測定位置は、大きく分けてトレーラ付近と道路遠端付近の2か所とした。それぞれ、道路中心、トレーラ端部（道路中心から850mm）、および道路端（道路中心から1800mm）の3点を測定した。測定高さは、トレーラ付近（道路近端部）が地上高500mm、トレーラなし（道路遠端部）が地上高300mmとした。

トレーラ付近（道路近端部）における漏えい電磁界の測定結果を図-6.2に示す。電磁界強度が最も大きいのは受電電極端であり、高周波電源出力を10kWとした場合の電界強度は366V/m、磁界強度は680mA/mとなり、電界強度が評価基準を超過した。なお、道路端では電界強度は108V/m、磁界強度は250mA/mとなり、管理環境の基準を満足した。

トレーラを設置した場所以外の道路上の漏えい電磁界の測定結果を図6.3に示す。電界強度は、道路中心が314V/m、道路端が58V/mとなり、道路上は基

準値を超過した。一方、磁界強度は最大で280mA/mであり一般環境の評価基準を満足した。

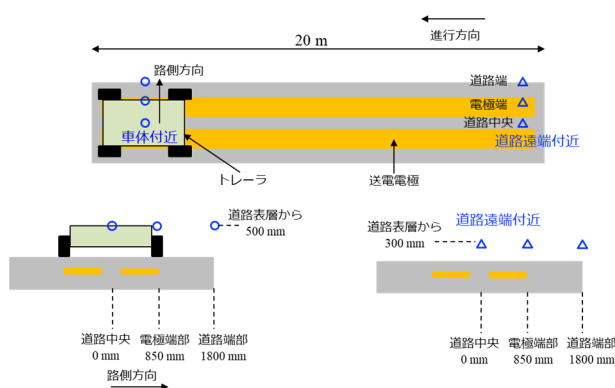
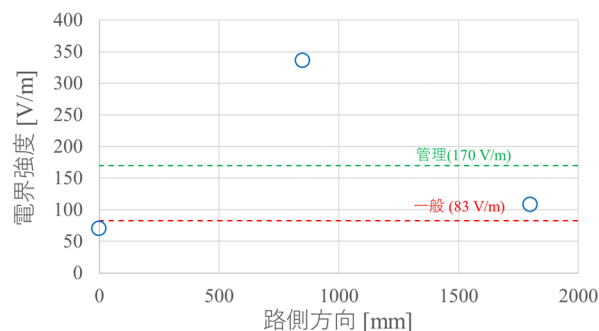
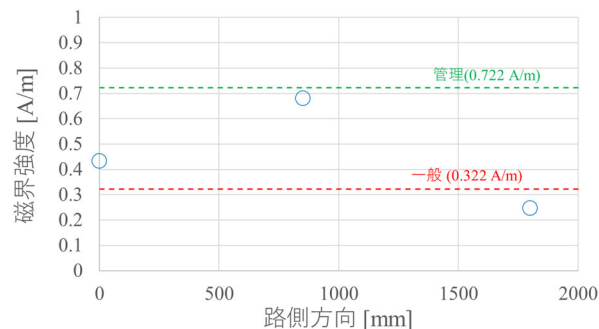


図-6.1 近傍界測定位置

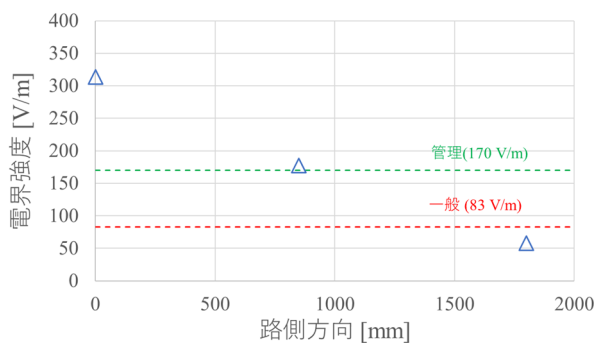


①電界強度測定結果

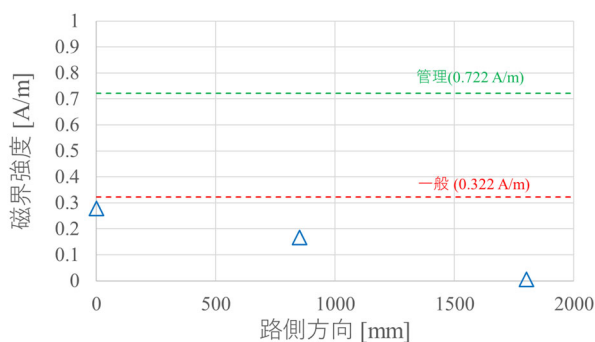


②磁界強度測定結果

図-6.2 近傍電磁界 トレーラ付近 測定結果



①電界強度測定結果



②磁界強度測定結果

図-6.3 近傍電磁界 道路遠端 測定結果

以上の実験の結果，課題となるのは，受電電極近傍の電界強度であることが確認された．そこで，トレーラ上部にシールド板（アルミ製 $t1\text{mm}$ ）による漏えい電磁界対策を行った．

測定の状況を図-6.4 に示す．測定の結果，シールド対策後の電界強度は 6V/m ，磁界強度は 620mA/m となり，人体影響に対する評価基準を満足した．なお， 10kW 送電中の無線給電道路の漏えい電磁界が基準値を超過する可能性が高いのは，道路上に限定され，事故など不測の事態で送電中の道路上に人が立ち入った場合など緊急で給電停止を行うシステムを設置することで安全に利用できるものと考えている．



図-6.4 近傍界測定(シールド有り)

6.2 放射妨害波に関する検討

6.78MHz における放射妨害波の規制値は，情報通信審議会情報通信技術分科会，電波利用環境委員会報告（平成 26 年 11 月 5 日案）およびその後の省令改正の論議において， 10m において磁界強度： $64\text{dB}\mu\text{A/m}$ が規制値の案として示された．

放射妨害波の測定は，高周波電源出力： 1.5kW で非走行条件において実施した．測定風景を図-6.5 に示す．測定周波数は $150\text{kHz}\sim 30\text{MHz}$ とし，スペクトラムアナライザの MAX ホールドモードで 2 回掃引した結果を読み取った．ループアンテナの位置は道路中心から 10m ，高さは地上から 1.3m とし，アンテナの向きはアンテナのループ面が道路と並行となる X 方向と，道路と直交になる Y 方向の 2 方向を設定した．図-6.6 に非走行条件の放射妨害波測定において最も高い値となった，トレーラ停車位置：無線給電道路近端，X 方向における 10kW 換算値の周波数特性を示す．

測定の結果，6.78MHz（基本波）および 20.34MHz （3 倍高調波）において基準値を超過した．

6.78MHz は無線電力伝送に利用する周波数（基本波）であり，放射妨害波は，送受電電極間および無線給電道路自身から放射しているものと考えられる．送電周波数における放射妨害波を低減することは困難であるが，6.78MHz における鉄筋コンクリートの透過損失は 30dB 以上期待できることから，道路側面の防音壁などを利用することで評価基準以下になることが期待できる．



図-6.5 放射妨害波の測定風景

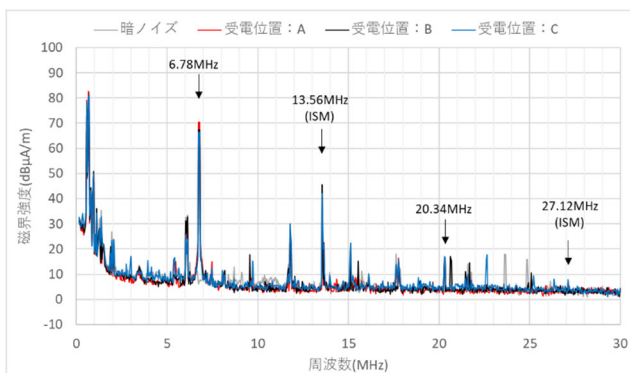


図-6.6 放射妨害波の測定結果（最大値）

また、20.34MHz の放射妨害波は、EMC フィルタの減衰特性が十分でなかったことが要因として考えられる。実装時には EMC フィルタの性能を 40dB 減衰程度に向上させることで基準を十分満足できると考えている。

6.3 走行中給電時の放射妨害波測定

走行中無線給電実験において、周波数を 6.78MHz（基本波）に設定し、受信アンテナの位置を道路中心から 10m の位置に固定した条件において、放射妨害波の時間変化を測定した。

放射妨害波の測定イメージを図-6.7 に示す。トレーラは牽引車両（ガソリン車）により約 20km/h の速度で道路遠端側から進入する。路車連携システムにより埋設した磁石の電源 ON 用の磁場を感知することで高周波入力 1.25kW が道路に輸入される。トレーラはそのまま道路上を直進し、埋設した磁石の電源 OFF 用の磁場を感知することで高周波入力が停止する。測定では、電源 ON、OFF 前後の 6.78MHz における放射妨害波強度の時間変動を計測した。

受信アンテナ設置位置（測定点）は、停車中の放射妨害波測定と同様に道路中心から 10m 離隔した近端・中央・遠端の 3 か所とした。また、トレーラはアンテナ設置位置ごとに 3 回走行し再現度を確認した。

スペクトラムアナライザの設定条件を表-6.1 に示す。測定周波数は送電周波数の 6.78MHz に固定し、スペクトラムアナライザで放射妨害波強度の時間変動を読み取った。ループアンテナの高さは地上から 1.3m とし、アンテナの向きはアンテナのループ面が道路と並行となる X 方向と、道路と直交になる Y 方向の 2 方向を設定した。なお、測定結果は、停車中給電同様に 10kW に換算した。

受信アンテナを近端位置に設置した条件における磁場強度の時間変動測定結果の最大値一覧を表-6.2 に示す。また、時間変動測定結果の X 方向を図-6.8 に、Y 方向を図-6.9 に示す。受信アンテナを中央位置に設置した条件における磁場強度の時間変動測定結果の X 方向を図-6.10 に、Y 方向を図-6.11 に示す。受信アンテナを遠端位置に設置した条件における磁場強度の時間変動測定結果の X 方向を図-6.12 に、Y 方向を図-6.13 に示す。

結果、停車中と走行中における放射妨害波の値は概ね一致することを確認した。また、アンテナ設置位置ごとに 3 回走行させ測定した結果、最大値は概ね一致しており再現度が確認された。

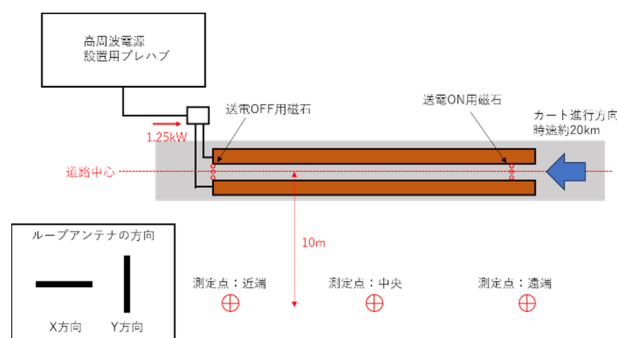


図-6.7 走行中の放射妨害波測定イメージ

表-6.1 スペクトラムアナライザ設定

設定項目	設定値
周波数	6.78MHz
分解能帯域幅	10kHz
ビデオ帯域幅	10kHz
測定モード	ゼロスパン

表-6.2 放射妨害波最大値(単位：dBAV/m, 10kW 換算)

トレーラ 状態	測定点		
	近端	中央	遠端
停車中	75.9	76.7	69.5
走行中	74.6	75.6	70.8

注：各条件におけるループアンテナ X 方向と Y 方向の結果のうち最大値を抜粋

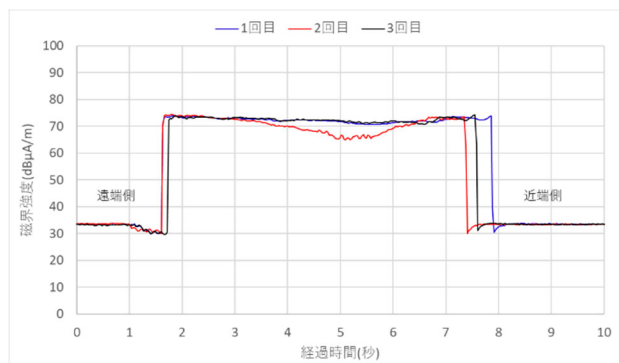


図-6.8 走行中の放射妨害波測定結果
(アンテナ設置位置：近端 アンテナ X 方向)

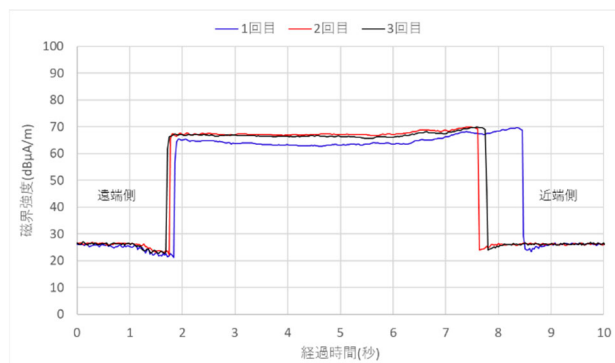


図-6.9 走行中の放射妨害波測定結果
(アンテナ設置位置：近端 アンテナ Y 方向)

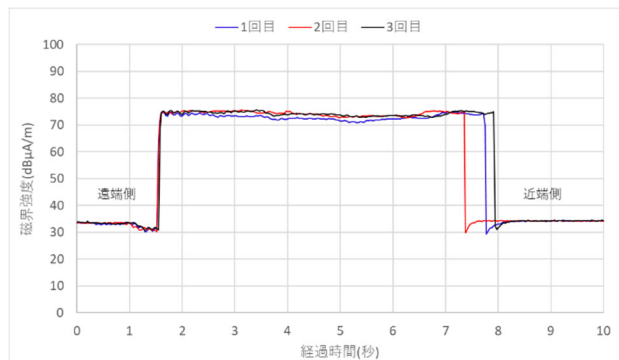


図-6.10 走行中の放射妨害波測定結果
(アンテナ設置位置：中央 アンテナ X 方向)

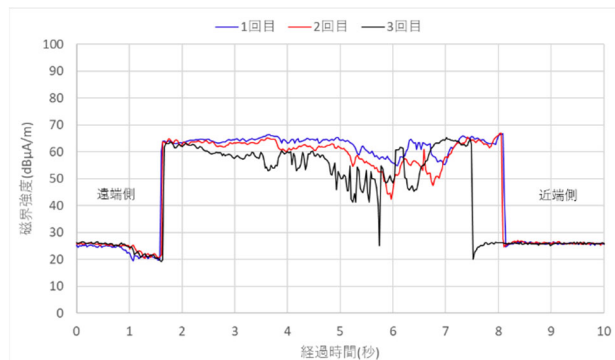


図-6.11 走行中の放射妨害波測定結果
(アンテナ設置位置：中央 アンテナ Y 方向)

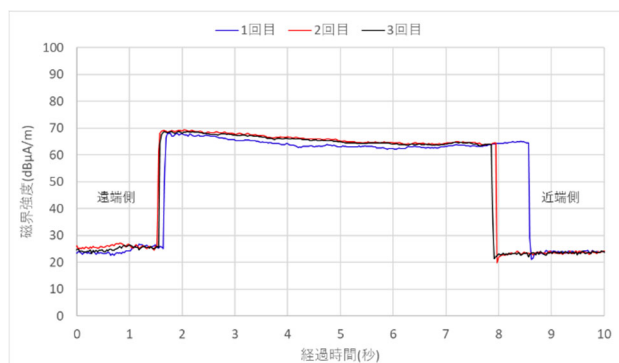


図-6.12 走行中の放射妨害波測定結果
(アンテナ設置位置：遠端 アンテナ X 方向)

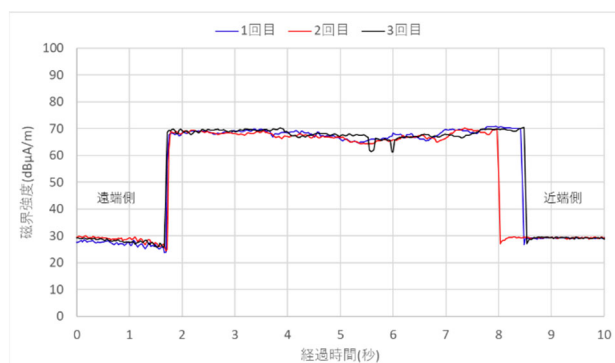


図-6.13 走行中の放射妨害波測定結果
(アンテナ設置位置：遠端 アンテナ Y 方向)

第7章 設計・施工・維持管理ガイドライン（案）

舗装材料・構造設計手法・施工手法・維持管理手法に関する基本仕様を整理する。さらに、漏えい電磁界に対する安全対策を踏まえた基本仕様を整理し、今後の社会実装に向けた無線給電道路システム（電界結合方式）のガイドライン（案）を作成した。

7.1 基本構造

無線給電道路の基本構造例を表-7.1 および図-7.1 に示す。

表-7.1 無線給電道路の基本構造例

舗装構成		種別	仕様・規格
区分	層厚 (mm)		
表層	50	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
基層	50	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
送電電極	—	瀝青シート	ガラス繊維入り 改質アスファルトシート
	1	ステンレス板	SUS304
上層路盤	100	特殊アスファルト安定処理	アスファルト安定処理
下層路盤	—	瀝青シート	ガラス繊維入り 改質アスファルトシート
	100	雨水浸透材	硬質プラスチック プラスチック板2mm
グラウンド	1	パンチングメタル	アルミニウム
施工基盤	50	アスファルト混合物	排水性アスファルト混合物
	50	アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
	100	粒状路盤	M-30



図-7.1 無線給電道路の基本構造例

7.2 材料仕様

(1) 表層・基層

a) 瀝青材料

① 改質アスファルト

改質アスファルトは、ポリマーや天然アスファルト等を加えて、石油アスファルトの性状を改善したもので、アスファルト混合物の各種性状（耐流動性、耐摩耗性、耐剥離性、骨材との付着性、たわみ追従性等）等を向上させるために使用する。

無線給電道路の表層および基層に用いる瀝青材料は耐久性が求められるためポリマー改質アスファルトⅡ型を用いることを標準とする。大型車両交通量が著しく多く、より高い耐久性が求められる箇所ではポリマー改質アスファルトⅢ型の適用も検討する。

② 石油アスファルト乳剤

石油アスファルト乳剤は、石油アスファルトを界面活性剤等で水中に分解させたものである。石油アスファルト乳剤は、温暖期や寒冷期および温度等といった気象条件により分解速度が異なり、その性能が発揮できることがある。そのため、使用にあたっては施工方法などについても検討する。

無線給電道路の表層および基層のタックコートに用いるアスファルト乳剤は、施工機械や運搬車両のタイヤ等への付着を軽減し、剥離による層間接着力の低下を予防する改質アスファルト乳剤（PKR-T）を標準的に用いる。

b) 骨材

無線給電道路の表層および基層のアスファルト混合物に用いる骨材は、電力伝送効率に影響を与える電気特性（比誘電率、誘電正接）が優れているセラミック骨材を用いることを標準とする。

骨材の材質や粒度は、舗装の性状に大きく影響を与えるので、その選定や使用に当たっては以下の点に注意して慎重に行う。

- 均等質、清浄、強硬で耐久性があり、細長いあるいは扁平な石片、ごみ、泥、有機物などを有害量含んではない。
- アスファルト混合物に使用する場合、骨材と瀝青材料との付着性は、骨材の性質等に影響される。付着性に問題がある場合には、剥離防止材、消石

灰およびポリマー改質アスファルトなどを用いて剥離防止対策を行う。

① 砕石

砕石は、機械的に破碎し、必要に応じて粒度ごとに分級したものを用いる。なお、呼び名別の粒度の規定に適合しない砕石であっても、他の砕石、砂等と合成した時の粒度が、混合物の所要の骨材粒度に適合すれば使用することができる。

② 砂

砂は、セラミック骨材を破碎して製造した電気特性（比誘電率、誘電正接）が優れている砂を用いる。

③ 再生骨材

再生骨材は、電気特性（比誘電率、誘電正接）が優れているセラミック骨材を用いたアスファルト舗装発生材を機械破碎して製造したものである。

c) フィラー

フィラーは原則として石灰岩を粉碎した石粉を使用する。水分量は 1.0% 以下のものを使用する。

(2) 送電電極

a) ステンレス板

無線給電道路の送電電極には表面に強力な酸化膜を生成し、錆や腐食に対し強い耐性を持つ SUS304 を標準とする。形状は車両走行時の給電が可能な幅（850mm 程度）とし、厚さは 1mm とする。

b) 瀝青シート

ステンレス板と基面である上層路盤や基層との付着性改善、ステンレス板の防水性・表面保護材としてステンレス板の上面と下面に瀝青シートを設置する。瀝青シートは走行車両の制動により舗装体の変形や滑動等の損傷が生じない材質、厚さを選定する。

(3) 上層路盤

a) 瀝青材料

舗装用石油アスファルトは、一般地域では主として 60～80 を用いることが多く、積雪寒冷地域では主として 80～100 を用いることが多い。なお、一般地域でも交通量が多い場合には 40～60 を使用することもある。

b) 骨材

無線給電道路の上層路盤のアスファルト混合物に用いる骨材は、電力伝送効率に影響を与える電気特性（比誘電率、誘電正接）が優れているセラミック骨材を用いることを標準とする。骨材の規格等は「(1) 表層・基層 骨材」を参照する。

c) フィラー

フィラーの規格等は「(1) 表層・基層 フィラー」を参照する。

(4) 下層路盤

a) 雨水浸透材

雨水浸透材は無線給電道路体内に浸透した水を速やかに排出するために設ける。また、雨水浸透材内に送電ケーブルを配線することができる空間を持つものが望ましい。

雨水浸透材は高空隙で、給電効率が低下しにくい材質とする。また、載荷荷重に対する強度・耐久性があるものを選定する。

b) 瀝青シート

雨水浸透材と上層路盤（特殊アスファルト安定処理）の付着性を改善するために瀝青シートを設置する。瀝青シートは走行車両の制動により舗装体の変形や滑動等の損傷が生じない材質、厚さを選定する。

(5) グランド

a) パンチングメタル

給電効率を改善するために雨水浸透材の基盤にグラウンドを設ける。グラウンドはアルミ板を標準とする。

雨水浸透材内部の水を速やかに施工基盤の排水層に排出するために穴あきのものとし、厚さは 1mm とする。

(6) 施工基盤：アスファルト混合物層

a) 瀝青材料

施工基盤：アスファルト混合物層の上層は無線給電道路から排出された水を取り込み、排水施設に排出するために排水性混合物とする。

施工基盤：アスファルト混合物層の下層は排水性混合物に流入した水が路盤層に浸透するのを抑制する役割を持つ。また、地下水が無線給電道路体内に流入するのを遮断するために密粒度または粗粒度混合物とする。

① 改質アスファルト

施工基盤の上層に用いる排水性混合物のアスファルトはポリマー改質アスファルト H 型を用いる

② 舗装用石油アスファルト

施工基盤の下層に用いる密粒度または粗粒度混合物のアスファルトは舗装用石油アスファルトとする。

③ 石油アスファルト乳剤

施工基盤の層間に散布する石油アスファルト乳剤は、粒状路盤面には PK-3、施工基盤下層面には PK-4 を用いる。

b) 骨材

施工基盤：アスファルト混合物層に用いる骨材は砕石、玉砕、砂利、鉄鋼スラグ、砂および再生骨材などがある。

上層の排水性混合物に用いる粗骨材については、配合量が多いことから、特にアスファルトとの付着性、耐摩耗性、破碎に対する抵抗性などに十分配慮して選定する。

c) フィラー

フィラーの規格等は「(1) 表層・基層 フィラー」を参照する。

(7) 施工基盤：路盤層

施工基盤の路盤層に用いる材料は、耐久性、施工性、安全性、経済性および省資源・リサイクルの可能性等を考慮し、以下の点に留意して選定する。

・路盤材料の最大粒径は 40mm 以下で、かつ一層の仕上がり厚の 1/2 以下がよい。

- ・ 締固めなどの施工性を考慮した場合、ある程度の粗骨材を含む連続粒度のものがよい。

(8) 電気系材料

a) 送電ケーブル

送電ケーブルは送電電極と路側に設置する電気回路とを接続するために用いる。選定には以下の条件を満足する同軸ケーブルとする。

- ・ 特性インピーダンスが $50\ \Omega$ の同軸ケーブルを選定する。
- ・ 最大 10kW （周波数 6.78MHz ）の電力を入力した場合に熱や放電によって破損しない特性の同軸ケーブルを選定する。

b) 直流電源

直流電源は、交流 200V の商用電源を高周波電源に inputs するための直流電源へ変換する装置である。

本研究では最大 10kW 出力の高周波電源を用いたため、 1.6kW 出力の直流電源を 8 台接続している。このように直流電源の出力は、高周波電源の最大出力よりも大きな電気容量に設定する。

c) 高周波電源

高周波電源は直流電源から供給された直流電力を無線電力伝送に用いる 6.78MHz の高周波電力に変換するために用いる。

d) EMC フィルタ

EMC フィルタは高周波電源から出力される高調波ノイズを抑制するために用いる。

e) 整合回路

整合回路は高周波電源から出力された高周波電力について、電力反射を最小限に抑え車両に供給するために用いる。

f) バラン

バランは入力される電力の平衡-不平衡を変換するために用いる。

g) ダミーロード

ダミーロードは車両側が受電した電力を熱消費するために用いる。

7.3 各種材料の配合

(1) 表層・基層：特殊アスファルト混合物

無線給電道路に用いる表層および基層には給電効率を考慮した材料を用い、配合は舗装体内に水が浸透しにくい連続粒度で骨材最大粒径 13mm のアスファルト混合物を標準とする。また、表層および基層用のアスファルト混合物の配合設計は、安定性と耐久性に優れ、敷きならし、締固めなどの作業が行いやすい混合物が得られるように行う。

配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験で行う。ただし、同一の材料と配合によって良好な結果を得ている過去の配合を利用する場合は配合設計を省略することができる。

(2) 上層路盤

上層路盤には給電効率を考慮した材料を用いる。配合は舗装体内に水が浸透しにくい連続粒度で骨材最大粒径 20mm のアスファルト混合物を標準とする。舗装表面の緻密性が確保できない場合は骨材最大粒径 13mm を検討する。

上層路盤用のアスファルト混合物の配合設計は、安定性と耐久性に優れ、敷きならし、締固めなどの作業が行いやすい混合物が得られるように行う。

配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験で行う。ただし、同一の材料と配合によって良好な結果を得ている過去の配合を利用する場合は配合設計を省略することができる。

(3) 施工基盤

施工基盤の排水性混合物の配合設計は、(雨水浸透材脚部（下層路盤）の応力集中による空隙つぶれを考慮して骨材最大粒径 13mm ，舗装体内の排水を確保するために空隙率 20% を標準とする。

配合設計は、原則としてダレ試験およびカンタブロ試験で行う。ただし、同一の材料と配合によって良好な結果を得ている過去の配合を利用する場合は配合設計を省略することができる。

(4) 施工基盤

施工基盤の密粒度アスファルト混合物は排水性混合物に流入した水が路盤、路床に浸透しないように、所定の品質を確保するように配合設計され、製造された加熱アスファルト混合物を用いる。

施工基盤の密粒度アスファルト混合物の配合設計は、安定性と耐久性に優れ、敷きならし、締固めなどの作業が行いやすい混合物が得られるように行う。

配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験で行う。ただし、同一の材料と配合によって良好な結果を得ている過去の配合を利用する場合は配合設計を省略することができる。

7.4 設計方法

無線給電道路の下層路盤には一般的な舗装構造には用いられない硬質プラスチック製の雨水浸透材が採用されているため、理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装構造設計を行う。舗装構造設計は、図-4.49 に示した設計フローの手順で行う。

(1) 許容 49kN 輪数の算出

舗装構成、層間の境界条件および各層の舗装材料物性値（弾性係数およびポアソン比）を設定し、理論的設計法（多層弾性理論）による舗装構造解析で各層に生じるひずみを求める。ひずみから設定した舗装構造の許容 49kN 輪数を算出する。

a) 解析条件の設定

① 舗装構成の設定（舗装構成および厚さ）

無線給電道路の舗装構成および厚さは給電効率に大きな影響を与えるため、構造設計に用いる舗装断面は標準断面を採用する。

② 境界条件の設定（層間のすべり特性の設定）

無線給電道路の基層と上層路盤の層間に送電電極を設置する。また、送電電極の付着性改善や保護を目的として送電電極の上面と下面に瀝青シート等の保護材を施工する。また、下層路盤（雨水浸透材）と上層路盤（特殊アスファルト安定処理）の付着性を改善するために瀝青シート等を用いる。

送電電極の保護材や付着性の改善に用いる瀝青シートは変形が生じにくい素材を用い、それぞれの境界面にすべりが生じないようにする。

無線給電道路における境界条件は全ての層間ですべりが生じないと設定する。

③ 舗装材料物性値の設定（弾性係数、ポアソン比）

各層の弾性係数やポアソン比は、アスファルト混合物および路盤材・路床土のレジリエントモデュラス試験方法より求める方法やFWDによるたわみ量測定結果をもとに逆解析で推定する方法などがある。表-7.2に各層の弾性係数やポアソン比の例を示す。

表-7.2 各層の弾性係数やポアソン比の例

舗装材料	弾性係数 (MPa)	ポアソン比
特殊アスファルト混合物	5,000	0.35
特殊アスファルト安定処理	3,000	0.35
雨水浸透材	35	0.10
排水性アスファルト混合物	5,000	0.35
密粒度アスファルト混合物	5,000	0.35
粒状材料	300	0.35
路床	30	0.40

b) 許容 49kN 輪数の算出

前項の解析条件を用いて理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装構造解析を行い、各層に生じるひずみを求める。

無線給電道路では以下の着目点についてひずみを求め、許容 49kN 輪数を算出する。

- i. 基層下面の引張ひずみ
- ii. 上層路盤層下面の引張ひずみ
- iii. 路床上面の圧縮ひずみ
 - i および ii はアスファルト混合物層の破壊基準式、
 - iii は路床の破壊基準式を用いる。

[アスファルト混合物層の破壊基準式]

$$N_{fa} = \beta_{a1} (C) (6.167 \times 10^{-5} \varepsilon_x^{-3.291} \beta_{a2} E^{-0.854} \beta_{a3})$$

N_{fa} : アスファルト混合物層の許容 49kN 輪数

$\beta_{a1}, \beta_{a2}, \beta_{a3}$: AI 破壊基準に対する補正係数

$$\beta_{a1} = K_a \beta_{a1}'$$

$$\beta_{a1}' : 5.229 \times 10^4$$

$$K_a : 1 / (8.27 \times 10^{-11} + 7.83 \cdot e^{-0.11 H_a})$$

$$\beta_{a2} : 1.314, \beta_{a3} : 3.018$$

C : アスファルト混合物層の最下層に使用する混合物の容積特性に関するパラメータ

$$C = 10^M, M = 4.84 (VFA/100 - 0.69),$$

VFA : 飽和度 (%)

ε_x : アスファルト混合物層下面の引張ひずみ

E : アスファルト混合物層の弾性係数 (MPa)

[路床の破壊基準式]

$$N_{fs} = \beta_{s1} (1.365 \times 10^{-9} \varepsilon_z^{-4.477} \beta_{s2})$$

N_{fs} : 路床の許容 49kN 輪数

β_{s1}, β_{s2} : AI 破壊基準に対する補正係数

$$\beta_{s1} = 2.134 \times 10^3$$

$$\beta_{s2} : 0.819$$

ε_z : 路床上面の圧縮ひずみ

※(社)日本道路協会：舗装設計便覧，2006 参照

(2) 疲労破壊輪数の算出

設計する舗装の供用条件（舗装の設計期間や交通量区分）から疲労破壊輪数の算出を行う。

a) 設計条件の設定

① 舗装の設計期間

舗装の設計期間は、交通による繰り返し荷重に対する舗装構造全体の耐荷力を設定するための期間であり、道路管理者が適宜設定できるものである。道路交通や沿道環境に及ぼす舗装工事の影響、当該舗装のライフサイクルコスト、利用できる舗装技術等を総合的に勘案して設定する。

② 交通量区分

舗装計画交通量から交通量区分を決定する。舗装計画交通量は舗装の設計期間内の大型自動車の平均的な交通量を指す。

舗装計画交通量は、一方方向 2 車線以下の道路においては、大型自動車の方向別の日交通量のすべてが 1 車線を通過するものとして算定する。一方方向 3 車線以上の道路においては、各車線の大型自動車の交通の分布状況を勘案して、大型自動車の方向別の日交通量の 70% 以上が 1 車線を通過するものとして算定する。

b) 疲労破壊輪数の算出

交通量区分と設計期間から疲労破壊輪数を求める。表-7.3に疲労破壊輪数の基準値を示す。

表-7.3 疲労破壊輪数の基準値

交通量区分	舗装計画交通量 (台/日・方向)	疲労破壊輪数 (回/10年)
N7	3,000 以上	35,000,000
N6	1,000 以上 3,000 未満	7,000,000
N5	250 以上 1,000 未満	1,000,000
N4	100 以上 250 未満	150,000
N3~N1	100 未満	30,000

※ 設計期間が 10 年以外の場合は、疲労破壊輪数に 10 年に対する割合を乗じた値以上とする

(3) 舗装構造の評価

各着目点のひずみから算出した許容 49kN 輪数と疲労破壊輪数から構造設計に用いた舗装材料および舗装構成の妥当性を評価する。

許容 49kN 輪数 $\geq$ 疲労破壊輪数の場合、設定した舗装構造で構築した無線給電道路は供用期間内に構造的な破壊に至ることなく妥当であると評価される。

許容 49kN 輪数 $<$ 疲労破壊輪数の場合、設定した舗装構造で構築した無線給電道路は供用期間内に構造的な破壊が生じる可能性があるため、舗装構造の再検討が必要と評価される。

無線給電道路では給電効率に大きな影響を与えるグラウンドより上層の舗装断面（表層から下層路盤）は変化させず、施工基盤の舗装断面で調整を行う。

(4) 標準断面と異なる舗装材料を用いる場合

表 4-1-1 に示す構造設計に用いる標準断面と異なる舗装材料を用いる場合、複雑な形状の物体を用いる場合には、室内試験や試験施工により弾性係数やポアソン比等の舗装材料物性値を設定する必要がある。設定した舗装材料物性値を用いて理論設計方法（多層弾性理論）や有限要素法（FEM）による構造設計を実施し、舗装構造を決定する。

7.5 施工方法

無線給電道路の施工は、図-7.2 に示すフローで実施することを基本とする。

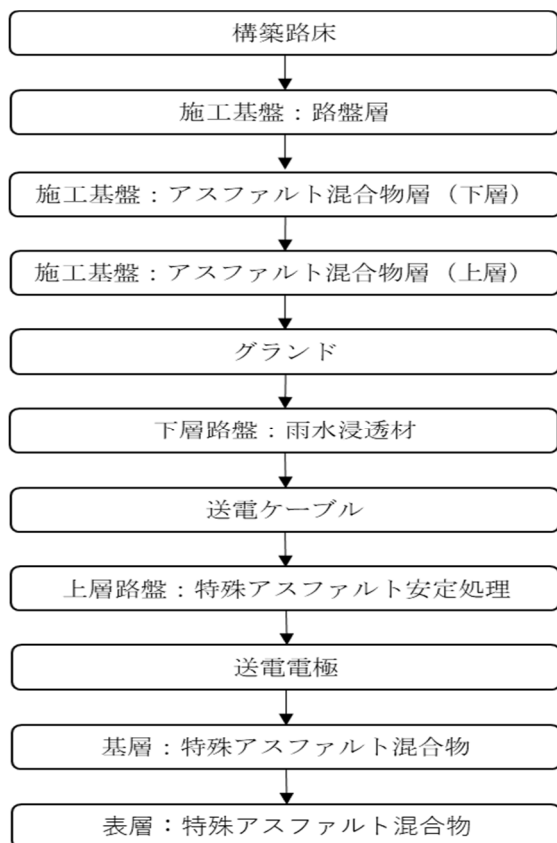


図-7.2 標準的な施工フロー

(1) 構築路床

構築路床は、現地盤高さが路床計画高さに満たない場合や現状の路床支持力が必要な支持力を満たしていない場合に行う。

構築路床の築造方法には盛土、安定処理工法および置換え工法等がある。工法の選定においては、構築路床が必要とする支持力（CBR）と計画高さ、残土処分地および良質土の有無などに配慮して決定する。

(2) 施工基盤：路盤層

施工基盤の路盤層（粒度調整碎石）の施工は、材料分離に留意しながら 所定の仕上がり厚さが得られるように路盤材料を均一に敷きならし、所定の締固め度が得られるまで締固め、かつ所定の形状に平たんに仕上げる。

粒度調整路盤の一層の仕上がり厚さは 15cm 以下を標準とするが、振動ローラを用いる場合は上限を 20cm としてよい。敷きならしは一般にモーターグレーダで行う。転圧は一般に 10～12t のロードローラと 8～20t のタイヤローラで行うが、これらと同等以上の効果がある振動ローラを用いてもよい。

(3) 施工基盤：アスファルト混合物層（下層）

施工基盤：アスファルト混合物層（下層）は施工基盤（上層）の排水層に浸透した水が路盤以下に浸透するのを抑制する。また、舗装体下部からの水（地下水等）の浸水を抑制するために設置する。

加熱アスファルト混合物の施工の良否は舗装の供用性に大きな影響を与えるため、施工管理を適切に行い平たんに仕上げる。

(4) 施工基盤：アスファルト混合物層（上層）

施工基盤：アスファルト混合物層（上層）は無線給電道路に浸透した水を取り込み、排水施設に排出するために排水性混合物で構築する。

(5) グラウンド

グラウンドは給電効率を維持するために施工基盤と下層路盤（雨水浸透材）の界面に設ける金属板である。グラウンドは無線給電道路内に侵入した水を速やかに施工基盤の排水層に排出させるために有孔板とする。

グラウンドは無線給電道路の車線全幅に敷設し、テープ等で一体化させる。また、施工時の滑動、変形を予防するために施工基盤にコンクリート釘や接着剤等で固定する。

(6) 下層路盤：雨水浸透材

下層路盤は無線給電道路内に浸透した水が滞留しないように高空隙で排水能力に優れる雨水浸透材で構築する。雨水浸透材の施工手順および施工上の留意点を以下に示す。

① 雨水浸透材の設置

下層路盤には送電電極とグラウンドの間に水分が滞留することを抑制するために、空隙が大きく透水能力を有し、誘電特性に優れる材料を用いる。雨水浸透材は無線給電道路の車線全幅に敷設する。また、施工時の滑動、変形を予防するためにグラウンドに接着剤等で固定する。

② プラスチック板の設置

雨水浸透材の継目から上層部へのひびわれを抑制するために、雨水浸透材上面に硬質プラスチック板を設置する等の対策を行うことが望ましい。施工時の滑動、変形を予防するために雨水浸透材に接着剤等で固定する。この際、プラスチック板の継目と雨水浸透材の継目が同一断面にならないように留意して配置する。

③ 瀝青シートの設置

下層路盤と上層路盤の接着性を改善するために瀝青シートを無線給電道路の車線全幅に敷設する。上層路盤の滑動やブリージングを防止するために瀝青シートの素材および厚さを配慮する必要がある。

(7) 送電ケーブル

送電ケーブルの配線は、送電電極と送電ケーブルを接続する箇所の雨水浸透材、プラスチック板および瀝青シートに削孔を行う。

送電ケーブルは送電電極の設置高さまで立ち上げ、下層路盤内に配線した送電ケーブルは動かないようにグラウンドに固定する。また、送電ケーブルの外皮を剥がし、送電ケーブルのグラウンドと道路のグラウンドとを電氣的に共通化する。例えば、写真 5-7-1 に示すように送電ケーブルのグラウンドに平編銅線をはんだ付けし、平編銅線と道路のグラウンドを金属釘で共通化する。またこれら金属部分は水分による腐食を防止するため防水処理を施すことが望ましい。試験施工では、平編銅線を亜鉛テープで保護し、さらに防水テープによって防水処理を行う。

(8) 上層路盤

上層路盤の施工方法は「(3) 施工基盤：アスファルト混合物層（下層）」と同様である。

(9) 送電電極

① 瀝青シート（下面）の設置

送電電極と上層路盤の付着性改善するために、送電電極の下面に瀝青シートを敷設する。瀝青シートは基層用アスファルト混合物の熱で熔融し、送電電極と密着させるものとする。

② 送電電極の設置

送電電極は車線中心線の左右に 2 列設置する。また、送電電極は車線中心線に対して平行とし、送電電極間の距離は一定とする。

送電電極は途切れないように継手長さを 10cm 以上確保する。送電電極と送電電極との間に、図 5-8-1 に示すような両面に金属テープを張り付けた絶縁シートを挟み込む。この際、砂などによる汚れが付着しないよう注意すること。絶縁シートは、作業時

にずれが生じないように養生テープおよび釘で固定する。釘で固定する際、絶縁シート両面に張り付けた金属テープが釘により導通しないよう注意する。

③ 送電ケーブルの接続

送電電極の端部と送電ケーブルを連結する。連結箇所を養生したのち、送電ケーブルを保護していたボイド管内部の空間は上層路盤と同様に給電効率が低下しない材料で埋め戻しを行う。ボイド管内部の埋戻し材は転圧が困難なため、無転圧でも水密性が高くなる混合物とする。

④ 瀝青シート（上面）の設置

送電電極の防水性向上および表面保護のために、送電電極全体を覆うように上面に瀝青シートを敷設する。瀝青シートは基層用アスファルト混合物の熱で熔融し、送電電極と密着させるものとする。基層の滑動やブリージングを防止するために瀝青シートの厚さは 2mm 以下とする。

(10) 基層

基層の施工方法は「(3) 施工基盤：アスファルト混合物層（下層）」と同様である。

7.6 維持管理方法

(1) 舗装の状況調査

a) 路面調査

① 目視調査

路面の状況を詳細に観察し、記録するもので原則、徒歩により実施する。徒歩による調査が困難な場合は、車上より路面の状態を観察するとよい。

② 路面性状調査

路面性状調査は、舗装の路面状態（破損の程度）を数値化して把握するもので、調査試験機や器具等を用いて実施する。路面性状調査には、舗装路面のひび割れ率測定やわだち掘れ深さ測定、平たん性測定などがある。

b) 構造調査

構造調査は、舗装の内部や舗装構造を詳細に把握するもので、FWD (Falling Weight Deflectometer：重錘落下たわみ測定装置) によるたわみ量測定や切りコアの採取、開削調査などにより行う。

(2) 舗装の評価

アスファルト舗装の破損の主なものには、ひび割れやわだち掘れ、平たん性の低下があげられ、その他の破損として、段差、ポットホール、剥離などがある。これら舗装の破損の発生原因としては、供用による疲労に起因するもの、材料に起因するもの、設計に起因するもの、施工に起因するものなどがあり、破損の種類（発生形態）にかかわらずそれらの要因が相互に影響していることが多い。したがって、破損の状態と原因を把握し舗装の現状を適切に評価することが、維持修繕の要否判断、または維持修繕工法の選定や設計を行うために重要となる。

表-7.4 にひび割れの形態と破損の分類，表-7.5 にわだち掘れの形態と破損の分類を示す．

(3) 維持・修繕方法

無線給電道路体内に水が浸透すると給電効率の低下するため，舗装表面に発生したひび割れは適切に維持・修繕を行う必要がある．また，わだち掘れにより舗装表面の滞水を防止する必要がある．損傷の程度により，シーラ材注入工法による舗装表面の維持，切削オーバーレイ工法による修繕を行い，舗装表面の防水性を維持する．

表-7.4 ひび割れの形態と破損の分類

ひび割れの形態		破損の分類	
		路面破損	構造破損
疲労ひび割れ	線状		◎
わだち割れ	線状	◎	○
施工継目のひび割れ	線状	◎	
リフレクションクラック	線状		◎
温度応力ひび割れ	線状	○	○
路床・路盤の支持力低下におけるひび割れ	亀甲状		◎
路床・路盤の沈下によるひび割れ	亀甲状		◎
アスファルト混合物の劣化・老化によるひび割れ	亀甲状	○	○
基層の剥離によるひび割れ	亀甲状	○	○

表-7.5 わだち掘れの形態と破損の分類

わだち掘れの形態	破損の分類	
	路面破損	構造破損
路床・路盤の圧縮変形		◎
アスファルト混合物の塑性変形	◎	○
アスファルト混合物の摩耗	◎	

第8章 研究の成果と課題

8.1 研究成果

本委託研究は、高効率で汎用性に優れた無線給電を行う道路を実現するために、電界結合方式を基幹とする無線給電道路システム、舗装材料・構造および施工技術、路車連携による給電制御技術、漏えい電磁界抑制・対策技術にわたる体系的な実用化システムを構築することを目的とした。

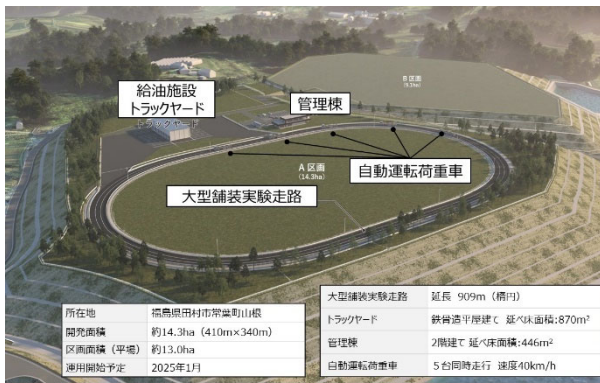
本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・ 時速 20km で走行する車両に対して、最大 62.7%、平均 58.1% の伝送効率で連続して無線給電できることを確認し、課題を整理した。また、道路横断方向の位置ずれについて評価し、送電電極（幅 850mm）の範囲内であれば、受電電極（幅 550mm）が位置ずれしても伝送効率の低下が生じないことを確認した。
- ・ 大型車が通行する高速道路へ適用可能な舗装構造を開発し、長さ 20m の無線給電道路を施工した。
- ・ 無線給電道路の各施工段階において標準的な作業手順を整理し、基本仕様としてガイドライン(案)に反映した。
- ・ 施工した無線給電道路の強度・耐久性を検証し 5 トン換算輪数 33,494 輪/1 方向における、舗装体支持力や路面性状の低下がないことを確認した。さらに、無線給電道路の構造設計法として、多層弾性理論に基づく設計方法について 3 次元 FEM との比較検討を実施し、実用化に向けての課題を整理した。
- ・ 道路に埋設した磁石を車両側センサで検知し送電システムを自動で ON/OFF する制御プログラムを開発し、時速 20km の走行中給電実験において機能を検証した。
- ・ 漏えい電磁界対策を検討し、トレーラ上の電界強度および磁界強度は人体安全性の指針値以下（管理環境）となることを確認した。また、放射妨害波を測定し電波法への適合可能性を確認した。さらに、基本仕様を整理してガイドライン(案)に反映した。

8.2 今後の課題

今後、実用化に向けて以下の課題に取り組むことを考えている。

- 1) 本研究を通して、送電電極などの改良を重ねた結果、延長 20m の試験施工の範囲ではあるが、全道路に亘って平均伝送効率 60% 程度を安定的に送電できることが実証された。ただし、将来的な実装を加速するためには、より経済的で便益の高い技術となるように、さらなる伝送効率の向上が必要だと考える。今後、効率向上を目指して、舗装材料や舗装構造を改良した無線給電道路を開発する予定である。
- 2) 本研究ではトレーラに受電装置を搭載し伝送効率を評価したが、実用化に向けては EV への給電技術を開発する必要がある。現在、内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム」第 3 期課題（SIP3）「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」に係る研究開発テーマ「エネルギーとモビリティのセクターカップリング」の研究プロジェクトに参画し、EV 充電装置のワイヤレス化および商用車（EV バス）の改造による無線給電実験を進め EV の普及促進に向けた研究開発を推進している。
- 3) 本研究を通して、延長 20m の試験路において、本舗装構造の強度を検証し、FWD 測定や解析的検討により疲労破壊輪数などの長期耐久性の検証を完了した。しかし、大型車が通行する高速道路へ適用可能な舗装構造を実装するためには、より実用条件に即した道路での強度・耐久性を検証することが課題である。今後、本研究成果を活用した実大型車が高速走行可能な実証フィールドを整備し、より実道に近い条件で強度・耐久性などの各種性能を評価する予定である。（参考：図-8.1）。
- 4) 本研究では多層弾性理論による構造評価を設計方法の基本としたが、有限要素法による評価結果との比較において、各層の弾性係数に差異が確認された。今後、各層の境界条件の設定について再検討し、多層弾性理論に基づく設計方法の精度を高めることで、TA 法に相当する構造設計法を確立する予定である。



【施設の基本仕様】

- ・36tのウエイトを積載する自動運転荷重車 5 台
- ・24時間連続走行

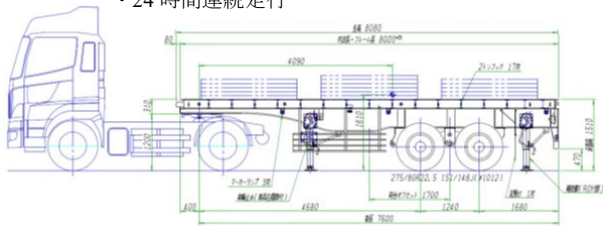


図-8.1 大成建設グループ 次世代舗装実験走路

- 本研究では、切削した特殊アスファルト混合物が一般的なアスファルト混合物と同様に再生骨材としてリサイクルできることが確認した。今後、リサイクル材による無線給電道路を施工し、舗装の強度・耐久性・走行性および伝送効率への影響を評価する必要があると考えている。
- 本研究では、高速道路の土工部において適用可能な無線給電道路の開発を行った。今後、都市型高速道路の橋梁部およびトンネル部に適用するためには、舗装断面の薄型化、コンクリート舗装の実現などの課題を解決する必要があると考えている。
- 本研究では、道路に埋設した磁石を車両側センサで検知しWiFiによる無線通信によって無線給電設備を自動 ON/OFF 制御することで時速 20km の走行中給電を実施した。しかし、本手法では道路から得られる情報は磁束密度のみであり、送電電極上に複数の車両がいるケースや割込み、WiFi の通信遅延など実用化に向けては多くの課題がある。今後、DSRC や 5G など低遅延な通信方式と緻密に無線給電制御を行うために必要な車両側から取得する情報を整理し、高速道路へ適用可能な無線給電制御システムを開発する必要がある。さらに、路車連携による無線給電制御システムを実用化するには複数の事業者がコンソーシアムを形成し標準化を進める必要があると考えている。
- 電界結合方式の送電に利用する 6.78MHz における放射妨害波の規制値は、情報通信審議会情報通信技術分科会、電波利用環境委員会報告(平成 26 年 11 月 5 日案)およびその後の省令改正の論議において示された数値が基準値となってお

り、高出力の無線給電に対する課題となる。今後、実験データを蓄積し、総務省およびブロードバンドワイヤレスフォーラムと連携することによって、標準化を進める必要があると考えている。

- 本研究では無線給電システムの今後の社会実装に向けた舗装材料・構造設計手法・施工手法・維持管理手法に関するガイドライン(案)を作成した。今後、試験施工の機会を増やしていくことでガイドライン(案)を更新し、汎用化を進めることが課題である。

8.3 研究成果の道路行政への反映

現在、内閣府 SIP3「スマートエネルギーマネジメントシステムの構築」の研究プロジェクトに参画し、EV 充電装置のワイヤレス化による EV の普及促進に向けた研究開発を推進している。また、本研究成果の実装への反映の一環として、大成建設グループの重点施設である次世代舗装実験走路への実装と高速走行実証、さらには国土交通省の新技术導入促進計画への積極的な提案を図る予定である。これら実装に向けた取組みを強化することで、将来の低炭素化社会の実現に貢献する道路の実現に寄与できると考えている。

参考文献

- 1) 横井行雄, "非接触充電技術・標準化の現状," 自動車技術会エンジンレビュー, vol.7, no.2, pp.2-7, Mar. 2017.
- 2) SAE-J2954. "Wireless Power Transfer for Light-Duty Plug-in/Electric Vehicles and Alignment Methodology," Nov. 2020.
- 3) Z. Yang *et al.*, "Research on parameter optimization of Double-D coils for electric vehicle wireless charging based on magnetic circuit analysis," IEICE Electronics Express, Vol.17, No.7, pp.1-6, Apr.2021.
- 4) A. Mostafa *et al.*, "A Z-Class LCC-P Compensated IPT System with a Reverse Coupled Compensation Inductor," 2021 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/WoW51332.2021.9462872.
- 5) A. Huang *et al.*, "Optimal Matching Reactance Design and Validation in Wireless Power Transfer System for Electric Vehicle Based on SAE J2954-RP," 2020 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC), 2020, pp. 174-177, doi: 10.1109/WPTC48563.2020.9295576.
- 6) V. Cirimele *et al.*, "Uncertainty Quantification for SAE J2954 Compliant Static Wireless Charge Components," in IEEE Access, vol. 8, pp. 171489-171501, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3025052.
- 7) F. Lin, *et al.*, "Design of a SAE Compliant Multicoil Ground Assembly," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Industrial Electronics, vol. 1, no. 1, pp. 14-25, July 2020, doi: 10.1109/JESTIE. 2020.2999597.
- 8) 総務省電波監理委員会, "電波法施行規則第四十六條の二第十号," 総務省, https://www.tele.soumu.go.jp/horei/reiki_honbun/a720020001.html, 参照 Nov. 24, 2021.
- 9) 高橋俊輔, "走行中給電技術の展望," 自動車技術会エンジンレビュー, vol.7, no.2, pp.9-16, Mar. 2017.
- 10) PATH University of California Berkeley : "Roadway Powered Electric Vehicle Project Track Construction and Testing Program Phase 3D Final Report" California PATH Research Paper UCB-ITS-PRR-94-07, ISSN 10551425(1994).
- 11) 清水修 他, "第 3 世代ワイヤレスインホイールモータにおける走行中給電用コイルの開発," 電気学会論文誌 D, vol.141, no.8, pp.638-645, Aug. 2021.
- 12) 永井栄寿 他, "走行中ワイヤレス給電における給電能力向上による送電コイル敷設率の低減," 自動車技術会論文集, vol.52, no.2, pp.450-455, Mar. 2021.
- 13) K. Hanawa, T. Imura and N. Abe, "Basic Evaluation of Electrical Characteristics of Ferrite-less and Capacitor-less Coils by Road Embedment Experiment for Dynamic Wireless Power Transfer," 2021 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power (WoW2021), June. 2021
- 14) IPT technology, "Dynamic wireless charging of electric vehicles in motion," IPT technology, <https://ipt-technology.com/e-mobility-wireless-dynamic-charging/>, 参照 Nov. 24, 2021.
- 15) Smartroad Gotland, "The world's first wireless electric road charging an e-bus and an e-truck," Electreon, <https://www.smartroadgotland.com>, 参照 Nov. 24, 2021.
- 16) S. Jeong, Y. J. Jang and D. Kum, "Economic Analysis of the Dynamic Charging Electric Vehicle," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 11, pp. 6368-6377, Nov. 2015, doi: 10.1109/TPEL. 2015.2424712.
- 17) 増田満, "電界共鳴による電気自動車への大電力給電," 古河電工時報137号, vol.137, pp.20-27, Feb.2018.
- 18) 古河電工ニュースリリース, "世界初 電界共振結合で4.7kWのワイヤレス電力伝送に成功," 古河電気工業株式会社, https://www.furukawa.co.jp/release/2020/kenkai_200127.html, 参照 Nov. 24, 2021.
- 19) B. Regensburger, A. Kumar, S. Sinha and K. Afridi, "High-Performance 13.56-MHz Large Air-Gap Capacitive Wireless Power Transfer System for Electric Vehicle Charging," 2018 IEEE 19th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/COMPEL.2018.8460153.
- 20) S. Sinha, S. Maji and K. K. Afridi, "Comparison of Large Air-Gap Inductive and Capacitive Wireless Power Transfer Systems," 2021 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2021, pp. 1604-1609, doi: 10.1109/APEC42165. 2021.9487431.
- 21) F. Lu, H. Zhang, H. Hofmann and C. Mi, "A Double-Sided LCLC-Compensated Capacitive Power Transfer System for Electric Vehicle Charging," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 30, no. 11, pp. 6011-6014, Nov. 2015, doi: 10.1109/TPEL. 2015.2446891.
- 22) 情報通信審議会, "資料13-5 検討対象の各ワイヤレス電力伝送システムの技術的要件と利用シーンについて (BWF)," 総務省, https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsu sin/policyreports/joho_tsusin/denpa_kankyau/wpt/02kiban16_04000679.html, 参照 Nov. 24, 2021.
- 23) 水谷 豊, 横野翔勇, 大平 孝, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 崎原孫周, 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, "電界方式無線給電道路の実用化システムその1: 電界方式の無線給電道路への適用", 第 34 回日本道路会 議, Tokyo, Nov. 2021.
- 24) 遠藤哲夫, 崎原孫周, 新藤竹文, 水谷 豊, 大平 孝, 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, "電界方式無線給電道路の実用化システムその2: 電界結合方式による無線給電道路システム", 第 34 回日本道路会 議, Tokyo, Nov. 2021.
- 25) 城本政一, 唐木健次, 渡部敬史, 新藤竹文, 遠藤哲夫, 崎原孫周, 水谷 豊, 大平 孝, "電界方式無線給電道路の実用化システムその3: 電界結合

- 方式による無線給電道路の舗装材料と構造”, 第 34 回日本道路会議, Tokyo, Nov. 2021.
- 26) 新藤竹文, 城本政一, 大平 孝, “走行中の電気自動車へ連続的にワイヤレス給電する電化道路,” JARA 日本道路協会月刊誌「道路」Dec. 2021.
- 27) H. Zhang, F. Lu and C. Mi, "An Electric Roadway System Leveraging Dynamic Capacitive Wireless Charging: Furthering the Continuous Charging of Electric Vehicles," in *IEEE Electrification Magazine*, vol. 8, no. 2, pp. 52-60, June 2020, doi: 10.1109/MELE.2020.2985486.
- 28) F. Lu, H. Zhang, H. Hofmann, Y. Mei and C. Mi, "A dynamic capacitive power transfer system with reduced power pulsation," *2016 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW)*, 2016, pp. 60-64, doi: 10.1109/WoW.2016.7772067.
- 29) Y. Zhang, S. Chen, X. Li, Z. Yan and Y. Tang, "A Compact Dynamic Wireless Power Transfer System via Capacitive Coupling Achieving Stable Output," *2020 IEEE 9th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC2020-ECCE Asia)*, 2020, pp. 3269-3275, doi: 10.1109/IPEMC-ECCE Asia48364. 2020.9368192.

研究テーマ

走行中の電気自動車に連続的に無線給電を行う
道路の実用化システムの開発

【付録】

無線給電道路の設計・施工・維持管理
ガイドライン（案）

令和6年5月

目次

1. 基本構造.....	1
2. 材料仕様.....	2
2. 1 舗装系.....	2
(1) 表層・基層	2
(2) 送電電極.....	6
(3) 上層路盤.....	6
(4) 下層路盤.....	7
(5) グランド.....	7
(6) 施工基盤：アスファルト混合物層	7
(7) 施工基盤：路盤層.....	9
2. 2 電気系.....	10
(1) 送電ケーブル.....	11
(2) 直流電源.....	11
(3) 高周波電源	11
(4) ローパスフィルタ.....	12
(5) 整合回路.....	12
(6) バラン.....	12
(7) ダミーロード.....	12
3. 各種舗装材料の配合.....	12
3. 1 表層・基層：特殊アスファルト混合物	12
3. 2 上層路盤：特殊アスファルト安定処理路盤.....	13
3. 3 施工基盤：排水性混合物.....	15
3. 4 施工基盤：密粒度アスファルト混合物	16
4. 設計方法.....	17
4. 1 舗装設計	17
(1) 許容 49kN 輪数の算出	17
(2) 疲労破壊輪数の算出.....	20
(3) 舗装構造の評価	21
(4) 標準断面と異なる舗装材料を用いる場合.....	22
4. 2 送受電設計	22
5. 施工方法.....	25
5. 1 無線給電舗装の構築.....	25
(1) 構築路床.....	25
(2) 施工基盤：路盤層.....	27
(3) 施工基盤：アスファルト混合物層（下層）	28
(4) 施工基盤：アスファルト混合物層（上層）	30
(5) グランド.....	33
(6) 下層路盤：雨水浸透材	33
(7) 送電ケーブル.....	34
(8) 上層路盤.....	36
(9) 送電電極.....	37
(10) 基層.....	39
(11) 表層.....	40
(12) 排水施設	41
(13) 養生.....	41
5. 2 アスファルト混合物の製造	42

(1) 新規混合物の製造.....	42
(2) 再生混合物の製造.....	43
(3) 混合物の貯蔵.....	45
5. 3 アスファルト混合物の運搬.....	45
(1) 運搬車.....	45
(2) 運搬時間および距離.....	46
(3) 積込み.....	46
(4) 運搬.....	46
(5) 荷降ろし.....	46
6 維持管理方法.....	47
6. 1 舗装の現況調査.....	47
(1) 路面調査.....	47
(2) 構造調査.....	49
6. 2 舗装の評価方法.....	54
(1) 破損の分類と評価区分.....	54
(2) 路面性能の評価.....	55
(3) 舗装構造の評価.....	59
6. 3 維持・修繕方法.....	61
(1) 舗装の維持.....	62
(2) 舗装の修繕.....	63

1. 基本構造

無線給電舗装の基本構造例を表 1-1-1 および図 1-1-1 に示す。

表 1-1-1 無線給電舗装の基本構造例

舗装構成		種別	仕様・規格
区分	層厚 (mm)		
表層	50	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
基層	50	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
送電電極	—	瀝青シート	ガラス繊維入り 改質アスファルトシート
	1	ステンレス板	SUS304
上層路盤	100	特殊アスファルト安定処理	アスファルト安定処理
下層路盤	—	瀝青シート	ガラス繊維入り 改質アスファルトシート
	100	雨水浸透材	硬質プラスチック プラスチック板2mm
グラウンド	1	パンチングメタル	アルミニウム
施工基盤	50	アスファルト混合物	排水性アスファルト混合物
	50	アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
	100	粒状路盤	M-30

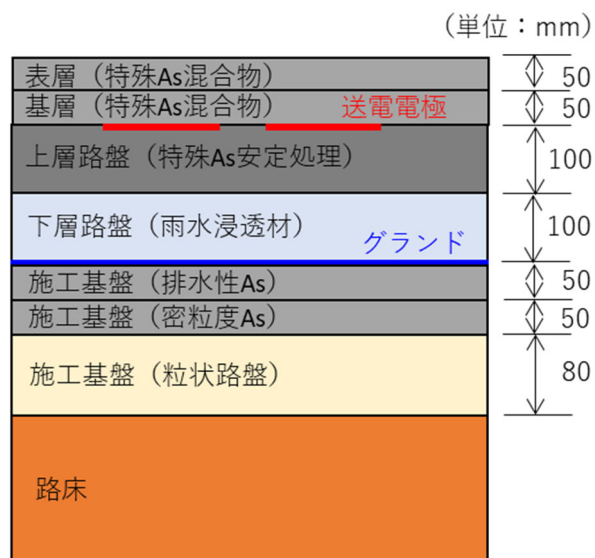


図 1-1-1 無線給電舗装の基本構造例

2 材料仕様

2. 1 舗装系

(1) 表層・基層

1) 瀝青材料

① 改質アスファルト

改質アスファルトは、ポリマーや天然アスファルト等を加えて、石油アスファルトの性状を改善したもので、アスファルト混合物の各種性状（耐流動性、耐摩耗性、耐剥離性、骨材との付着性、たわみ追従性等）等を向上させるために使用する。

無線給電舗装の表層および基層に用いる瀝青材料は耐久性が求められるためポリマー改質アスファルトⅡ型を用いることを標準とする。大型車両交通量が著しく多く、より高い耐久性が求められる箇所ではポリマー改質アスファルトⅢ型の適用も検討する。

ポリマー改質アスファルトの標準的な性状を表 2-1-1 に示す。

表2-1-1 ポリマー改質アスファルトの標準的な性状

項目	Ⅱ 型	Ⅲ 型	
		Ⅲ 型-W	Ⅲ 型-WF
針入度 [25℃] (1/10mm)	40以上		
軟化点 (℃)	56.0以上	70.0以上	
伸度 [15℃] (cm)	30以上	50以上	
薄膜加熱質量變化率 (%)	0.6以下		

薄膜加熱針入度残留率	(%)	65以上		
引火点	(℃)	260以上		
タフネス [25℃]	(N・m)	8.0以上	16.0以上	
テナシティ [25℃]	(N・m)	4.0以上	—	
粗忽ア愛の剥離面積率	(%)	—	—	5以下
フラス脆化点	(℃)	—	—	-12以下

② 石油アスファルト乳剤

石油アスファルト乳剤は、石油アスファルトを界面活性剤等で水中に分解させたものである。石油アスファルト乳剤は、温暖期や寒冷期および温度等といった気象条件により分解速度が異なり、その性能が発揮できることがある。そのため、使用にあたっては施工方法などについても検討する。

無線給電舗装の表層および基層のタックコートに用いるアスファルト乳剤は、施工機械や運搬車両のタイヤ等への付着を軽減し、剥離による層間接着力の低下を予防する改質アスファルト乳剤（PKR-T）を標準的に用いる。アスファルト乳剤の標準的な性状を表 2-1-2 に示す。

表2-1-2 アスファルト乳剤の標準的な性状

項目		カチオン乳剤		改質アスファルト乳剤
		PK-3	PK-4	PKR-T
エングラード [25℃]		1～6		1～10
ふるい残留分 [1.18mm] (%)		0.3以下		
付着度		2/3以上		
粒子の電荷		陽 (+)		
蒸発残留分		50以上		
蒸発残留分	針入度 [25℃] (1/10mm)	100を超え 300以下	60を超え 150以下	60を超え 150以下
	軟化点 (℃)	—		42.0以上
	タフネス [25℃] (N・m)	—		3.0以上
	テナシティ [25℃] (N・m)	—		1.5以上
	トルエン可溶分 (%)	98以上		—
貯蔵安定性 [24hr] (%)		1以下		
主な用途		プライムコート用	タックコート用	タックコート用

2) 骨材

無線給電舗装の表層および基層のアスファルト混合物に用いる骨材は、電力伝送効率に影響を与える電気特性（比誘電率、誘電正接）が優れているセラミック骨材を用いることを標準とする。

骨材の材質や粒度は、舗装の性状に大きく影響を与えるので、その選定や使用に当たっては以下の点に注意して慎重に行う。

- ・均等質、清浄、強硬で耐久性があり、細長いあるいは扁平な石片、ごみ、泥、有機物などを有害量含んではない。
- ・アスファルト混合物に使用する場合、骨材と瀝青材料との付着性は、骨材の性質等に影響される。付着性に問題がある場合には、剥離防止材、消石灰およびポリマー改質アスファルトなどを用いて剥離防止対策を行う。

① 砕石

砕石は、機械的に破碎し、必要に応じて粒度ごとに分級したものであり、一般には表 2-1-3 に示す粒度に適合するものを用いる。なお、呼び名別の粒度の規定に適合しない砕石であっても、他の砕石、砂等と合成した時の粒度が、混合物の所要の骨材粒度に適合すれば使用することができる。

骨材の品質の目標値を表 2-1-4、有害物含有量の目標値を表 2-1-5 に示す。

表 2-1-3 砕石の粒度

呼び名		粒度範囲 (mm)	ふるいに通るものの質量百分率 (%)					
			26.5	19	13.2	4.75	2.36	1.18
単 粒 度 砕 石	S20 (5号)	20～13	100	85～ 100	0～15			
	S13 (6号)	13～5		100	85～ 100	0～15		
	S5 (7号)	5～2.5			100	85～ 100	0～25	0～5

表 2-1-4 砕石の品質の目標値

項目	目標値
吸水率 (%)	3.0以下
すり減り減量 (%)	30以下

表2-1-5 有害物含有量の目標値

含有物	含有量 (全試料に対する質量百分率%)
粘度、粘土塊	0.25以下
軟らかい石片	5.0以下
細長、あるいは扁平な石片	10.0以下

② 砂

砂は、セラミック骨材を破碎して製造した電気特性（比誘電率、誘電正接）が優れている砂を選定する。

③ 再生骨材

再生骨材は、電気特性（比誘電率、誘電正接）が優れているセラミック骨材を用いたアスファルト舗装発生材を機械破碎して製造したものである。

再生骨材の品質を表 2-1-6 に示す。

表2-1-6 再生骨材の品質

項目	規格値
旧アスファルト含有量 (%)	3.8以上
旧アスファルトの針入度 [25℃] (1/10mm)	20以上
骨材の微粒分量試験で75 μ mを通過する量 (%)	5以下

改質アスファルト混合物の発生材は針入度だけで劣化の程度を評価することが難しく、旧アスファルトの針入度が 20 未満のものでも再生骨材として利用することができるものもある。

3) フィラー

フィラーは原則として石灰岩を粉碎した石粉を使用する。石灰岩を粉碎した石粉の粒度規格を表 2-1-7 に示す。水分量は 1.0%以下のものを使用する。

表2-1-7 石灰岩を粉碎した石粉の粒度規格

ふるい目開き (μ m)	通過質量百分率 (%)
600	100
150	90～100
75	70～100

(2) 送電電極

1) ステンレス板

無線給電舗装の送電電極には表面に強力な酸化膜を生成し、錆や腐食に対し強い耐性を持つ SUS304 を標準とする。

ステンレス板の形状は車両走行時の給電が可能な幅とし、厚さは 1mm とする。

2) 瀝青シート

ステンレス板と基面である上層路盤や基層との付着性改善、ステンレス板の防水性・表面保護材としてステンレス板の上面と下面に瀝青シートを設置する。

瀝青シートは走行車両の制動により舗装体の変形や滑動等の損傷が生じない材質、厚さを選定する。

(3) 上層路盤

1) 瀝青材料

舗装用石油アスファルトの品質規格を表 2-1-8 に示す。一般地域では主として 60～80 を用いることが多く、積雪寒冷地域では主として 80～100 を用いることが多い。なお、一般地域でも交通量が多い場合には 40～60 を使用することもある。

表2-1-8 舗装用石油アスファルトの性状

項目	40～60	60～80	80～100
針入度 (25℃) (1/10mm)	40を超え60以下	60を超え80以下	80を超え100以下
軟化点 (℃)	47.0～55.0	44.0～52.0	42.0～50.0
伸度 (15℃) (cm)	100以上	100以上	100以上
トルエン可溶分 (%)	99.0以上	99.0以上	99.0以上
引火点 (℃)	260以上	260以上	260以上
薄膜加熱質量変化率 (%)	0.6以下	0.6以下	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率 (%)	58以上	55以上	50以上
蒸発後の針入度比 (%)	110以下	110以下	110以下
密度 (15℃) (g/cm ³)	1.000以上	1.000以上	1.000以上

2) 骨材

無線給電舗装の上層路盤のアスファルト混合物に用いる骨材は、電力伝送効率に影響を与える電気特性（比誘電率、誘電正接）が優れているセラミック骨材を用いることを

標準とする。

骨材の規格等は「(1) 表層・基層 骨材」を参照する。

3) フィラー

フィラーの規格等は「(1) 表層・基層 フィラー」を参照する。

(4) 下層路盤

1) 雨水浸透材

雨水浸透材は無線給電舗装体内に浸透した水を速やかに排出するために設ける。また、雨水浸透材内に送電ケーブルを配線することができる空間を持つものが望ましい。

雨水浸透材は高空隙で、給電効率が低下しにくい材質とする。また、載荷荷重に対する強度・耐久性があるものを選定する。

2) 瀝青シート

雨水浸透材と上層路盤（特殊アスファルト安定処理）の付着性を改善するために瀝青シートを設置する。

瀝青シートは走行車両の制動により舗装体の変形や滑動等の損傷が生じない材質、厚さを選定する。

(5) グランド

1) パンチングメタル

給電効率を改善するために雨水浸透材の基盤にグランドを設ける。グランドはアルミ板を標準とする。

雨水浸透材内部の水を速やかに施工基盤の排水層に排出するために穴あきのものとし、厚さは1mmとする。

(6) 施工基盤：アスファルト混合物層

1) 瀝青材料

施工基盤：アスファルト混合物層の上層は無線給電舗装から排出された水を取り込み、排水施設に排出するために排水性混合物とする。

施工基盤：アスファルト混合物層の下層は排水性混合物に流入した水が路盤層に浸透するのを抑制する役割を持つ。また、地下水が無線給電舗装体内に流入するのを遮断するために密粒度または粗粒度混合物とする。

① 改質アスファルト

施工基盤の上層に用いる排水性混合物のアスファルトはポリマー改質アスファルトH型を用いる。ポリマー改質アスファルトH型の標準的な性状を表2-1-9に示す。

表2-1-9 ポリマー改質アスファルトH型の標準的な性状

項目	規格値
針入度 [25℃] (1/10mm)	40以上
軟化点 (℃)	80.0以上
伸度 [15℃] (cm)	50以上
薄膜加熱質量変化率 (%)	0.6以下
薄膜加熱針入度残留率 (%)	65以上
引火点 (℃)	260以上
タフネス [25℃] (N・m)	20.0以上

② 舗装用石油アスファルト

施工基盤の下層に用いる密粒度または粗粒度混合物のアスファルトは舗装用石油アスファルトとする。舗装用石油アスファルトの品質規格は「(3) 上層路盤 瀝青材料」を参照する。

③ 石油アスファルト乳剤

施工基盤の層間に散布する石油アスファルト乳剤は、粒状路盤面にはPK-3、施工基盤下層面にはPK-4を用いる。

石油アスファルト乳剤の性状は「(1) 表層・基層 瀝青材料」を参照する。

2) 骨材

施工基盤：アスファルト混合物層に用いる骨材は碎石、玉砕、砂利、鉄鋼スラグ、砂および再生骨材などがある。

上層の排水性混合物に用いる粗骨材については、配合量が多いことから、特にアスファルトとの付着性、耐摩耗性、破碎に対する抵抗性などに十分配慮して選定する。

骨材の粒度や品質目標値は「(1) 表層・基層 骨材」を参照する。

3) フィラー

フィラーの品質規格は「(1) 表層・基層 フィラー」を参照する。

(7) 施工基盤：路盤層

施工基盤の路盤層に用いる材料は、耐久性、施工性、安全性、経済性および省資源・リサイクルの可能性等を考慮し、以下の点に留意して選定する。

- ・ 路盤材料の最大粒径は 40mm 以下で、かつ一層の仕上がり厚の 1/2 以下がよい。
- ・ 締固めなどの施工性を考慮した場合、ある程度の粗骨材を含む連続粒度のものがよい。

路盤材料の品質規格を表 2-1-10、路盤材料の粒度を表 2-1-11 に示す。

表 2-1-10 施工基盤：路盤層の品質規格

種類	品質規格
粒度調整砕石 (M)	修正 CBR80%以上 PI 4 以下
クラッシャラン (C)	修正 CBR20%以上 PI 6 以下
粒度調整鉄鋼スラグ (MS)	単位容積質量 1.50kg/L 以上 修正 CBR 80%以上 水浸膨張比 1.5%以下
水硬性粒度調整鉄鋼スラグ (HMS)	単位容積質量 1.50kg/L 以上 修正 CBR 80%以上 一軸圧縮強さ[14 日] 1.2MPa 以上 水浸膨張比 1.5%以下

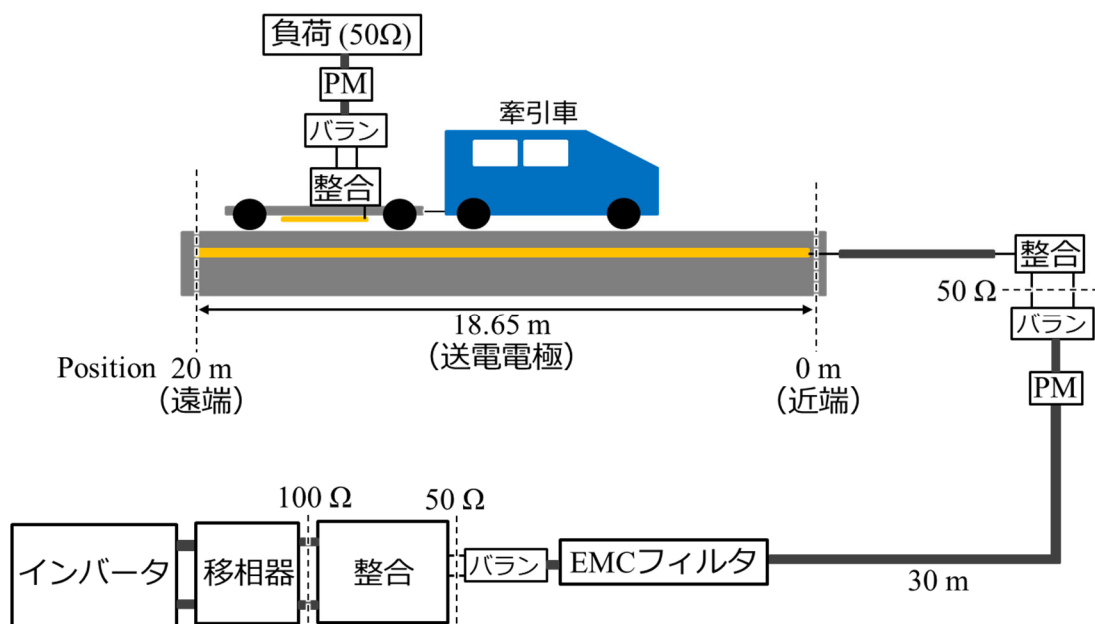
表 2-1-11 路盤材料の粒度

ふるい目の開き (mm)	ふるい通過質量百分率 (%)				
	粒度調整砕石 粒度調整鉄鋼スラグ 水硬性粒度調整鉄鋼スラグ			クラッシャラン	
	M-40 MS-40	M-30 MS-30	M-25 MS-25 HMS-25	C-40	C-30
	53.0	100		100	

37.5	95～100	100		95～100	100
31.5		95～100	100		95～100
26.5			95～100		
19.0	60～90	60～90		50～80	55～85
13.2			55～85		
4.75	30～65	30～65	30～65	15～40	15～45
2.36	20～50	20～50	20～50	5～25	5～20
0.425	10～30	10～30	10～30		
0.075	2～10	2～10	2～10		

2. 2 電気系

電気系に用いる機器の構成図を図 2-1 に示す。



- ・ インバータ：直流電力を高周波電力に変換
- ・ 移相器：回路入出力インピーダンスの位相を変換
- ・ 整合：回路入出力のインピーダンスを整合
- ・ バラ：平行不平衡変換
- ・ EMCフィルタ：ノイズ抑制
- ・ PM（パワーメータ）：RF電力を測定（Bird 4410A）
- ・ 負荷（50 Ω）：50 Ω ダミーロード（Altronic research inc. 6405）

図 2-1 電気系機器の構成図

(1) 送電ケーブル

送電ケーブルは送電電極と路側に設置する電気回路とを接続するために用いる。選定には以下の条件を満足する同軸ケーブルとする。

- ・ 特性インピーダンスが 50Ω の同軸ケーブルを選定する。
- ・ 最大 10kW (周波数 6.78MHz) の電力を入力した場合に熱や放電によって破損しない特性の同軸ケーブルを選定する。

今回の施工で用いた送電ケーブルを表 2-2-1 に示す。

表 2-2-1 送電ケーブル

型番	メーカー
WF-H50-7R	フジクラ・ダイヤケーブル

(2) 直流電源

直流電源は、交流 200V の商用電源を高周波電源に輸入するための直流電源へ変換する装置である。

今回の実験で用いた直流電源を表 2-2-2 に示す。実験では最大 10kW 出力の高周波電源を用いたため、1.6kW 出力の直流電源を 8 台接続している。このように直流電源の出力は、高周波電源の最大出力よりも大きな電気容量に設定する。

表 2-2-2 直流電源

型番	メーカー	台数
ZX1600HA	高砂製作所	8 台

(3) 高周波電源

高周波電源は直流電源から供給された直流電力を無線電力伝送に用いる 6.78MHz の高周波電力に変換するために用いる。今回の実験で用いた高周波電源を表 2-2-3 に示す。

表 2-2-3 高周波電源

型番	メーカー	出力電力
試作機	デンソー	最大：10kW 周波数：6.78MHz

(4) ローパスフィルタ

ローパスフィルタは高周波電源から出力される高調波ノイズを抑制するために用いる。

今回の実験で用いたローパスフィルタを表 2-2-4 に示す。

表 2-2-4 ローパスフィルタ

型番	メーカー	阻止減衰量
RF1010C-5kW-A	双信電機株式会社	周波数 13.56MHz ~ 150MHz : 30dB 以上減衰 周波数 150MHz ~ 1GHz : 20dB 以上減衰

(5) 整合回路

整合回路は高周波電源から出力された高周波電力について、電力反射を最小限に抑え車両に供給するために用いる。

(6) バラン

バランは入力される電力の平衡-不平衡を変換するために用いる。

(7) ダミーロード

ダミーロードは車両側が受電した電力を熱消費するために用いる。

3 各種舗装材料の配合

3. 1 表層・基層：特殊アスファルト混合物

無線給電舗装に用いる表層および基層には給電効率を考慮した材料を用い、配合は舗装体内に水が浸透しにくい連続粒度で骨材最大粒径 13mm のアスファルト混合物を標準とする。

表層および基層用のアスファルト混合物の配合設計は、安定性と耐久性に優れ、敷きならし、締固めなどの作業が行いやすい混合物が得られるように行う。

配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験で行う。ただし、同一の材料と配合によって良好な結果を得ている過去の配合を利用する場合は配合設計を省略することができる。

表層・基層用混合物の標準粒度範囲を表 3-1-1 に示す。粒度範囲のできるだけ中央値に近い粒度になるように各骨材の配合比を決定する。

設計アスファルト量は、マーシャル安定度試験の結果が表 3-1-2 の基準値を満足する

範囲の中央値とする。ただし、一般地域で交通量が多き道路では、中央値から下限値の範囲内で減らすことができる。

表3-1-1 表層・基層用混合物の標準粒度範囲

ふるい目の開き (mm)	ふるい通過質量百分率 (%)
19.0	100
13.2	95～100
4.75	55～70
2.36	35～55
0.60	18～30
0.30	10～21
0.15	6～16
0.075	4～8

表3-1-2 表層・基層用混合物のマーシャル試験および動的安定度の基準値※

項目	基準値
安定度 (KN)	6.0 以上
フロー値 (1/100cm)	20 ～ 40
空隙率 (%)	3～5
飽和度 (%)	70～85
残留安定度 (%)	75 以上
動的安定度 (回/mm)	3,000 以上

- ・ 電界結合方式による無線給電舗装は高規格道路への適用を想定しているため、NEXCO（表層タイプA）の標準粒度範囲および基準値を参考にしている。
- ・ 動的安定度は送電電極の変形等による給電効率の低下を考慮して大型車交通量（日／1方向）5,000 台以上の基準値とする。

3. 2 上層路盤：特殊アスファルト安定処理路盤

無線給電舗装に用いる上層路盤には給電効率を考慮した材料を用いる。配合は舗装体内に水が浸透しにくい連続粒度で骨材最大粒径 20mm のアスファルト混合物を標準とする。舗装表面の緻密性が確保できない場合は骨材最大粒径 13mm を検討する。

上層路盤用のアスファルト混合物の配合設計は、安定性と耐久性に優れ、敷きならし、締固めなどの作業が行いやすい混合物が得られるように行う。

配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験で行う。ただし、同一の材料と配合によって良好な結果を得ている過去の配合を利用する場合は配合設計を省略することができる。

上層路盤用混合物の標準粒度範囲を表 3-2-1 に示す。舗装表面を緻密にするために粒度範囲のできるだけ中央値と上限値の間の粒度になるように各骨材の配合比を決定する。

設計アスファルト量は、マーシャル安定度試験の結果が表 3-2-2 の基準値を満足する範囲の中央値とする。

表3-2-1 上層路盤用混合物の標準粒度範囲

ふるい目の開き (mm)	ふるい通過質量百分率 (%)
53.0	100
37.5	95～100
26.5	70～100
19.0	55～100
9.5	30～100
4.75	17～100
2.36	10～100
0.60	5～40
0.30	3～25
0.075	1～10

表3-2-2 上層路盤用混合物のマーシャル試験の基準値

項目	基準値
安定度 (KN)	3.0 以上
フロー値 (1/100cm)	15～45
空隙率 (%)	3～12
残留安定度 (%)	50 以上

- ・ 電界結合方式による無線給電舗装は高規格道路への適用を想定しているため、NEXCO（アスファルト安定処理路盤タイプⅡ）の標準粒度範囲および基準値を参考としている。

3. 3 施工基盤：排水性混合物

施工基盤の排水性混合物の配合設計は、（雨水浸透材脚部（下層路盤）の応力集中による空隙つぶれを考慮して骨材最大粒径 13mm、舗装体内の排水を確保するために空隙率 20%を標準とする。

配合設計は、原則としてダレ試験およびカンタブロ試験で行う。ただし、同一の材料と配合によって良好な結果を得ている過去の配合を利用する場合は配合設計を省略することができる。

排水性混合物の標準粒度範囲を表 3-3-1 に示す。

設計アスファルト量は、原則としてダレ試験より求めた最大アスファルト量とするが、透水能力が確保できない場合は、ダレ試験で求めた最大アスファルト量とカンタブロ試験から求めた最小アスファルト量の範囲の中から設定することができる。排水性混合物の目標値を表 3-3-2 に示す。

表3-3-1 施工基盤（排水性混合物）の標準粒度範囲

ふるい目の開き (mm)	ふるい通過質量百分率 (%)
19.0	100
9.5	90～100
4.75	11～35
2.36	10～20
0.075	3～7

表3-3-2 排水性混合物の目標値

項目	基準値
安定度 (kN)	3.43 以上
空隙率 (%)	20 程度
透水係数 (cm/sec)	10^{-2} 以上
動的安定度 (回/mm)	3,000 以上

3. 4 施工基盤：密粒度アスファルト混合物

施工基盤の密粒度アスファルト混合物は排水性混合物に流入した水が路盤、路床に浸透しないように、所定の品質を確保するように配合設計され、製造された加熱アスファルト混合物を用いる。

施工基盤の密粒度アスファルト混合物の配合設計は、安定性と耐久性に優れ、敷きならし、締固めなどの作業が行いやすい混合物が得られるように行う。

配合設計は、原則としてマーシャル安定度試験で行う。ただし、同一の材料と配合によって良好な結果を得ている過去の配合を利用する場合は配合設計を省略することができる。

施工基盤の密粒度アスファルト混合物の標準粒度範囲を表 3-4-1 に示す。粒度範囲のできるだけ中央値に近い粒度になるように各骨材の配合比を決定する。

設計アスファルト量は、マーシャル安定度試験の結果が表 3-4-2 の基準値を満足する範囲の中央値とする。

表3-4-1 施工基盤の密粒度アスファルト混合物の標準粒度範囲

ふるい目の開き (mm)	ふるい通過質量百分率 (%)
19.0	100
13.2	95～100
4.75	55～70
2.36	35～55
0.60	18～30
0.30	10～21
0.15	6～16
0.075	4～8

表3-4-2 施工基盤の密粒度アスファルト混合物のマーシャル試験の基準値

項目	基準値
安定度 (KN)	4.9 以上
フロー値 (1/100cm)	20 ～ 40
空隙率 (%)	3～5
飽和度 (%)	70～85
残留安定度 (%)	75 以上

4 設計方法

4. 1 舗装設計

無線給電舗装の下層路盤には一般的な舗装構造には用いられない硬質プラスチック製の雨水浸透材が採用されているため、理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装構造設計を行う。

理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装構造設計のフローを図 4-1-1 に示す。

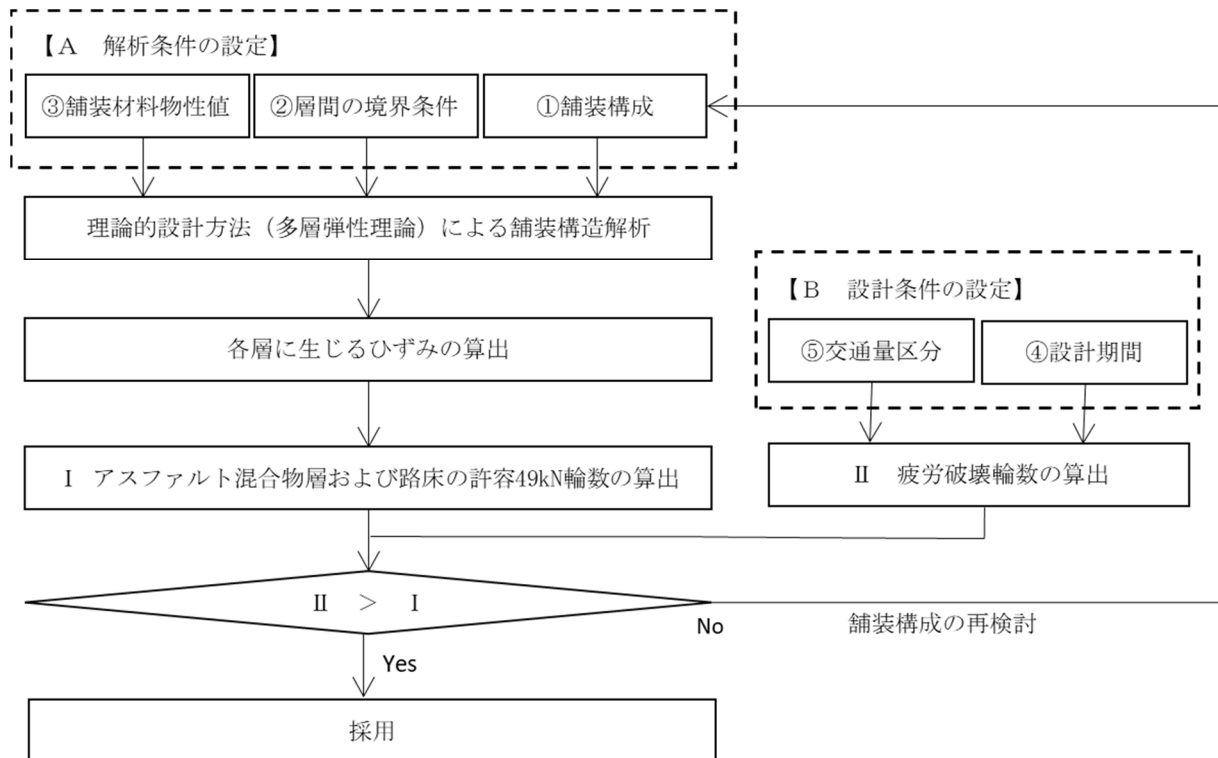


図 4-1-1 理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装構造設計のフロー

（1）許容 49kN 輪数の算出

舗装構成、層間の境界条件および各層の舗装材料物性値（弾性係数およびポアソン比）を設定し、理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装構造解析で各層に生じるひずみを求める。ひずみから設定した舗装構造の許容 49kN 輪数を算出する。

1) 解析条件の設定

① 舗装構成の設定

（舗装構成および厚さ）

無線給電舗装の舗装構成および厚さは給電効率に大きな影響を与えるため、構造設計に用いる舗装断面は標準断面を採用する。構造設計に用いる標準断面を表 4-1-1 に示す。

送電電極およびグラウンドは層厚が薄く、舗装構造解析への影響が小さいため標準

断面から除外する。

表 4-1-1 構造設計に用いる標準断面

舗装構成		種別	仕様・規格
区分	層厚(mm)		
表層	50	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
基層	50	特殊アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
上層路盤	100	特殊アスファルト 安定処理路盤材	アスファルト安定処理
下層路盤	100	雨水浸透材	硬質プラスチック
施工基盤	50	アスファルト混合物	排水性アスファルト混合物
	50	アスファルト混合物	密粒度アスファルト混合物
	80	粒状路盤	M-30

② 境界条件の設定

(層間のすべり特性の設定)

無線給電舗装の基層と上層路盤の層間に送電電極を設置する。また、送電電極の付着性改善や保護を目的として送電電極の上面と下面に瀝青シート等の保護材を施工する。また、下層路盤（雨水浸透材）と上層路盤（特殊アスファルト安定処理）の付着性を改善するために瀝青シート等を用いる。

送電電極の保護材や付着性の改善に用いる瀝青シートは変形が生じにくい素材を用い、それぞれの境界面にすべりが生じないようにする。

無線給電舗装における境界条件は全ての層間ですべりが生じないと設定する。

③ 舗装材料物性値の設定

(弾性係数、ポアソン比)

各層の弾性係数やポアソン比は、アスファルト混合物および路盤材・路床土のレジリエントモデュラス試験方法より求める方法やFWDによるたわみ量測定結果をもとに逆解析で推定する方法などがある。

表 4-1-2 に各層の弾性係数やポアソン比の例を示す。

表 4-1-2 各層の弾性係数やポアソン比の例

舗装材料	弾性係数 (MPa)	ポアソン比
特殊アスファルト混合物	5,000	0.35
特殊アスファルト安定処理	3,000	0.35
雨水浸透材	35	0.10
排水性アスファルト混合物	5,000	0.35
密粒度アスファルト混合物	5,000	0.35
粒状材料	300	0.35
路床	30	0.40

2) 許容 49kN 輪数の算出

前項の解析条件を用いて理論的設計方法(多層弾性理論)による舗装構造解析を行い、各層に生じるひずみを求める。

無線給電舗装では以下の着目点についてひずみを求め、許容 49kN 輪数を算出する。

- i 送電電極が設置されている基層下面の引張ひずみ
- ii 上層路盤層(アスファルト安定処理)下面の引張ひずみ
- iii 路床上面の圧縮ひずみ

i および ii はアスファルト混合物層の破壊基準式、iii は路床の破壊基準式を用いる。

[アスファルト混合物層の破壊基準式]

$$N_{fa} = \beta_{a1}(C) (6.167 \times 10^{-5} \varepsilon_x^{-3.291 \beta_{a2}} E^{-0.854 \beta_{a3}})$$

ここに、 N_{fa} ：アスファルト混合物層の許容 49kN 輪数 β_{a1} 、 β_{a2} 、 β_{a3} ：わが国の経験による AI 破壊基準に対する補正係数

$$\beta_{a1} = K_a \beta_{a1}'$$

$$K_a : 1 / (8.27 \times 10^{-11} + 7.83 \cdot e^{-0.11 H_a})$$

$$\beta_{a1}' : 5.229 \times 10^4$$

$$\beta_{a2} : 1.314$$

$$\beta_{a3} : 3.018$$

C：アスファルト混合物層の最下層に使用する混合物の容積特性に関するパラメータ

$$C=10^M$$

$$M=4.84 (VFA/100-0.69)$$

VFA：飽和度（％）

ϵ_x ：アスファルト混合物層下面の引張ひずみ

E：アスファルト混合物層の弾性係数（MPa）

[路床の破壊基準式]

$$N_{fs} = \beta_{s1} (1.365 \times 10^{-9} \epsilon_z^{-4.477 \beta_{s2}})$$

ここに、 N_{fs} ：路床の許容 49kN 輪数

β_{s1} 、 β_{s2} ：わが国の経験による AI 破壊基準に対する補正係数

$$\beta_{s1}=2.134 \times 10^3$$

$$\beta_{s2} : 0.819$$

ϵ_z ：路床上面の圧縮ひずみ

※（社）日本道路協会：舗装設計便覧、2006 参照

（２）疲労破壊輪数の算出

設計する舗装の供用条件（舗装の設計期間や交通量区分）から疲労破壊輪数の算出を行う。

１）設計条件の設定

④ 舗装の設計期間

舗装の設計期間は、交通による繰り返し荷重に対する舗装構造全体の耐荷力を設定するための期間であり、道路管理者が適宜設定できるものである。道路交通や沿道環境に及ぼす舗装工事の影響、当該舗装のライフサイクルコスト、利用できる舗装技術等を総合的に勘案して設定する。

⑤ 交通量区分

舗装計画交通量から交通量区分を決定する。舗装計画交通量は舗装の設計期間内の大型自動車の平均的な交通量を指す。

舗装計画交通量は、一方向 2 車線以下の道路においては、大型自動車の方向別の日

交通量のすべてが 1 車線を通過するものとして算定する。一方方向 3 車線以上の道路においては、各車線の大型自動車の交通の分布状況を勘案して、大型自動車の方向別の日交通量の 70%以上が 1 車線を通過するものとして算定する。

2) 疲労破壊輪数の算出

交通量区分と設計期間から疲労破壊輪数を求める。表 4-1-3 に疲労破壊輪数の基準値を示す。

表 4-1-3 疲労破壊輪数の基準値

交通量区分	舗装計画交通量 (台／日・方向)	疲労破壊輪数 (回／10 年)
N7	3,000 以上	35,000,000
N6	1,000 以上 3,000 未満	7,000,000
N5	250 以上 1,000 未満	1,000,000
N4	100 以上 250 未満	150,000
N3～N1	100 未満	30,000

※設計期間が 10 年以外の場合は、疲労破壊輪数に 10 年に対する割合を乗じた値以上とする

(3) 舗装構造の評価

各着目点のひずみから算出した許容 49kN 輪数と疲労破壊輪数から構造設計に用いた舗装材料および舗装構成の妥当性を評価する。

許容 49kN 輪数 $\geq$ 疲労破壊輪数の場合、設定した舗装構造で構築した無線給電舗装は供用期間内に構造的な破壊に至ることなく妥当であると評価される。

許容 49kN 輪数 $<$ 疲労破壊輪数の場合、設定した舗装構造で構築した無線給電舗装は供用期間内に構造的な破壊が生じる可能性があるため、舗装構造の再検討が必要と評価される。

無線給電舗装では給電効率に大きな影響を与えるグラウンドより上層の舗装断面（表層から下層路盤）は変化させず、施工基盤の舗装断面で調整を行う。

表 4-1-1 の舗装構成と表 4-1-2 の舗装材料物性値を用いて理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装構造解析および評価から設定した舗装断面例を表 4-1-4 に示す。

表 4-1-4 理論的設計方法（多層弾性理論）による舗装断面例（N7 交通、設計期間 10 年）

交通量 区分	設計 CBR	表層 + 基層	上層路 盤	下層路 盤	施工基盤		
					排水層	基層	粒状路 盤
N6 以下	3 以上	10	10	10	5	5	8
N7	3	10	10	10	5	5	30
	4	10	10	10	5	5	25
	6 以上	10	10	10	5	5	8

（４）標準断面と異なる舗装材料を用いる場合

表 4-1-1 に示す構造設計に用いる標準断面と異なる舗装材料を用いる場合、複雑な形状の物体を用いる場合には、室内試験や試験施工により弾性係数やポアソン比等の舗装材料物性値を設定する必要がある。設定した舗装材料物性値を用いて理論設計方法（多層弾性理論）や有限要素法（FEM）による構造設計を実施し、舗装構造を決定する。

4. 2 送受電設計

（１）送電側・受電側整合回路

整合回路は伝送効率を最大限に引き出すためのコンポーネントで、送電側と受電側にそれぞれ接続される。その設計について詳しく述べる。まず道路と受電電極の間の伝送特性である S パラメータを測定し、

$$Z = Z_0(I + S)(I - S)^{-1} \quad (1.1)$$

により Z パラメータへ変換する。ここで I は単位行列を表す。次に

$$\Sigma = R_{11}R_{22} + X_{12}X_{21} \quad (1.2)$$

$$\Delta = R_{11}R_{22} - R_{12}R_{21} \quad (1.3)$$

$$Z_s = \frac{\sqrt{\Sigma\Delta}}{R_{22}} + j\left(X_{11} - \frac{R_{12}X_{21}}{R_{22}}\right) \quad (1.4)$$

$$Z_\ell = \frac{\sqrt{\Sigma\Delta}}{R_{11}} + j\left(X_{22} - \frac{R_{12}X_{21}}{R_{11}}\right) \quad (1.5)$$

により、Z パラメータから最適入力インピーダンス Z_s および最適出力インピーダンス Z_ℓ を導出する。導出したインピーダンスより送電側、受電側の整合回路の設計をする。

整合回路設計の第一ステップは図 1 のように道路側と車体側の送受電電極間の伝送特性を信号波によって測定する。入出力にベクトルネットワークアナライザ

(VNA) を接続し、周波数 6.78 MHz の差動 2 ポート S パラメータを測定する。VNA には Keysight 社製の E5071C を用いた。測定した S パラメータ結果を表 1 に示す。

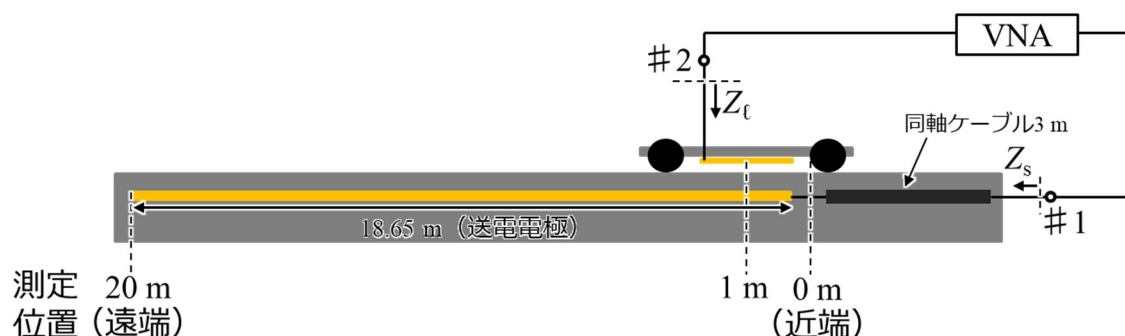


図 1 信号波測定のブロック図

表 1 信号波測定の S パラメータ結果

S_{11}	$-0.283 + j0.905$
S_{12}	$0.0319 - j0.0465$
S_{21}	$0.0319 - j0.0465$
S_{22}	$0.610 - j0.784$

取得した S パラメータから最適入力インピーダンス Z_s および最適出力インピーダンス Z_l を導出した結果、 $Z_s = 14.6 + j79.4 \, \Omega$ 、 $Z_l = 4.0 - j203 \, \Omega$ となった。導出結果を用いて、 Z_s と電源インピーダンス $50 \, \Omega$ を整合するように送電側の回路を設計・試作する。受電側も同様に Z_l と負荷インピーダンス $50 \, \Omega$ を整合するように回路を設計・試作する。設計方法はスミスチャートを用いたインピーダンスマッチングの方法を用いる[1]。図 2 のように送電側および受電側の整合回路を設計する。設計後、図 3 のように整合回路を接続し、信号波による測定で性能を確認する。インピーダンスが設計値の $50 \, \Omega$ から外れている場合、入力側反射係数 S_{11} と出力側反射係数 S_{22} が 0 に近づき、十分反射が少なくなるまで素子値を増減させ、微調整を行う。

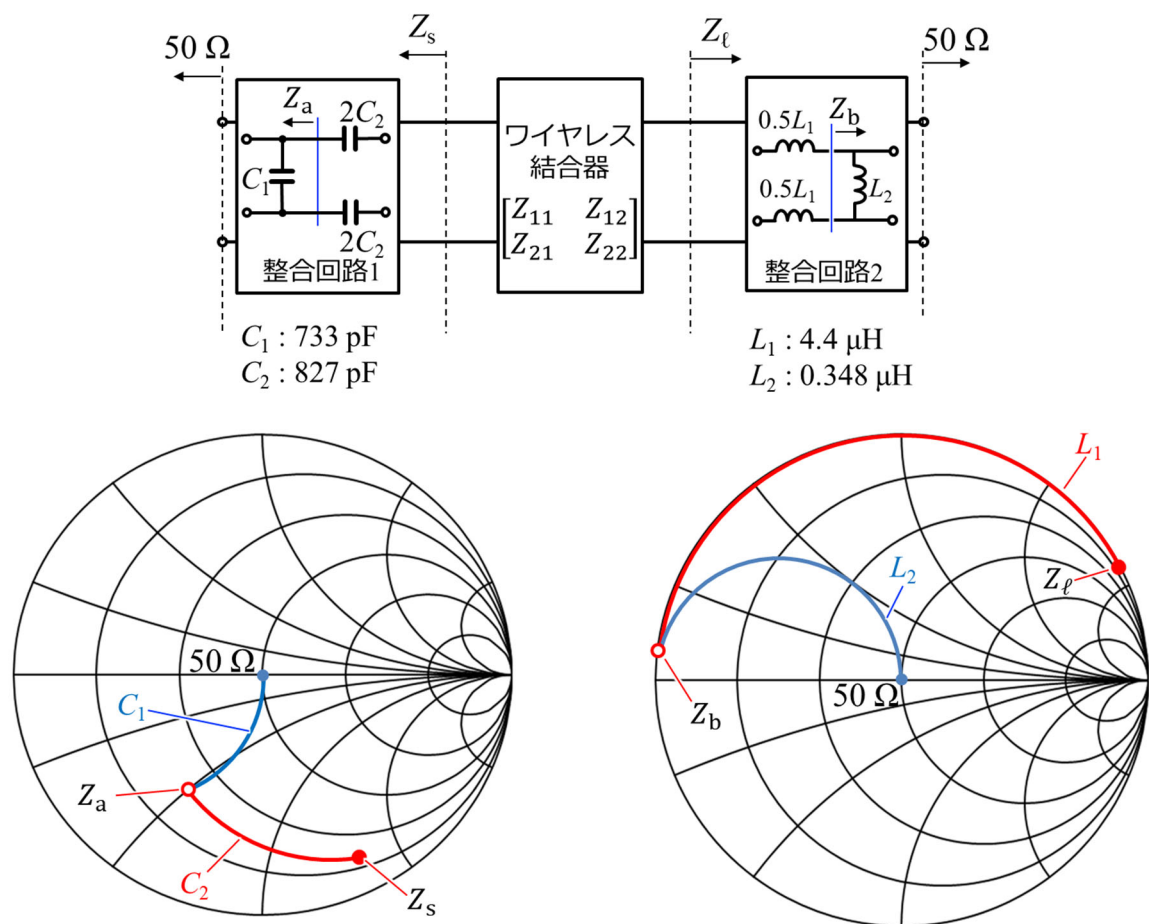


図 2 送電、受電側の整合回路設計

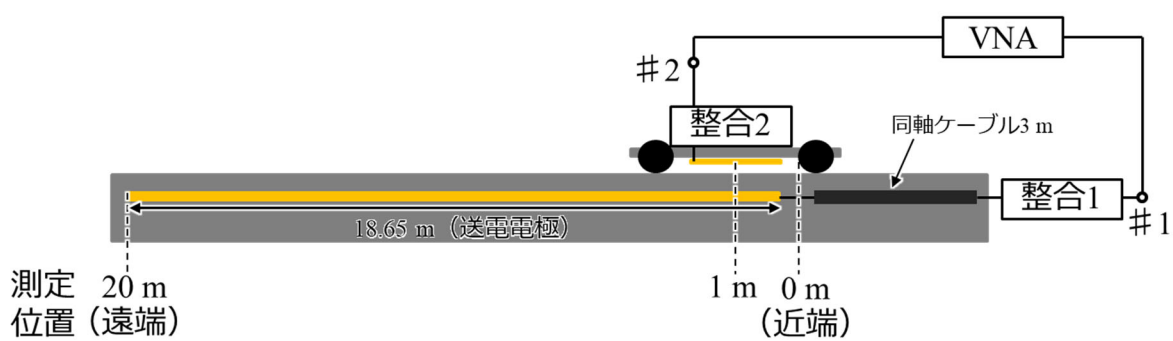


図 3 整合回路付加測定ブロック

[1] 藤原武, “スミスチャートでインピーダンスマッチの道筋を見つける方法と“Fuji-Smith”, RF ワールド, no. 49, pp. 96-102, Feb. 2020.

5 施工方法

5.1 無線給電舗装の構築

無線給電舗装の施工フローを図 5-1-1 に示す。

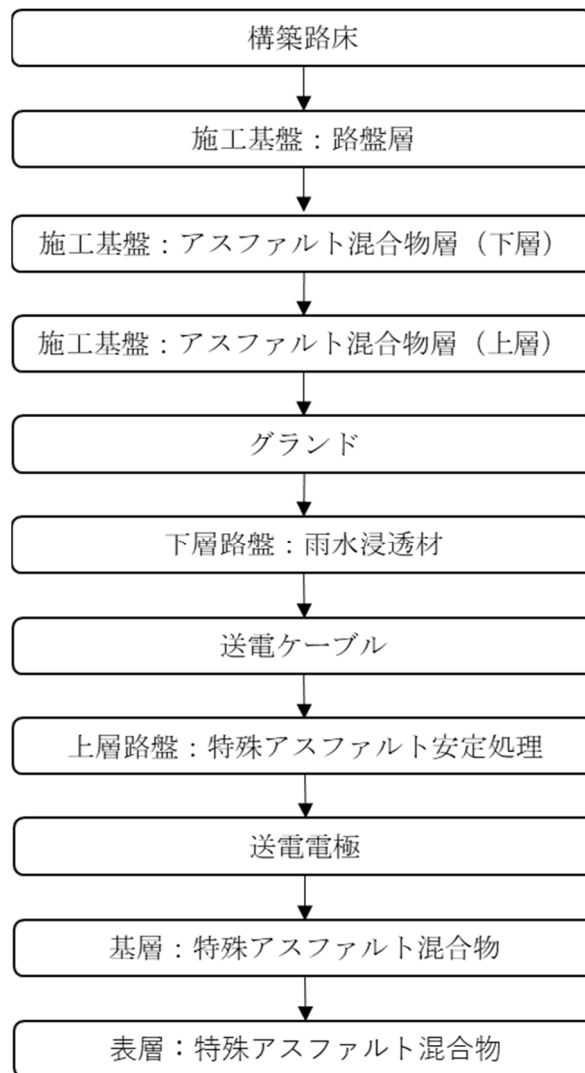


図 5-1-1 無線給電舗装の施工フロー

(1) 構築路床

構築路床は、現地盤高さが路床計画高さに満たない場合や現状の路床支持力が必要な支持力を満たしていない場合に行う。

構築路床の築造方法には盛土、安定処理工法および置換え工法等がある。工法の選定においては、構築路床が必要とする支持力（CBR）と計画高さ、残土処分地および良質土の有無などに配慮して決定する。

1) 盛土

盛土は、良質土を現地盤上に盛り上げて構築路床を築造する工法である。

盛土路床は、使用する盛土材の性質をよく把握したうえで均一に敷きならし、過転圧による強度低下を招かないように十分に締め固めて仕上げる必要がある。

盛土の施工上の留意点を以下に示す。

- ・一層の敷きならし厚さは、仕上がり厚で 20cm 以下を目安とする。
- ・盛土路床施工後は降雨によって軟弱化したり流出したりする恐れがあるので、仕上げ面の保護や縁部に仮排水の設置などの配慮が必要である。
- ・路床が切土の場合、表面から 30cm 程度以内に木根、転石等の路床の均一性を損なうものがある場合は、これらを取り除いて仕上げる。

2) 安定処理工法

安定処理工法は、現位置で現状路床土とセメントや石灰などの安定材を混合し、その支持力を改善して構築路床を築造する工法である。

安定処理工法による構築路床は、現状路床土と安定材を均一に混合し、締固めて仕上げる。舗装構造設計によって求められる目標とする支持力に対応する安定材の添加量を配合設計で決定する。

安定処理工法の一般的な施工手順および施工上の留意点を以下に示す。

- ①安定材の散布に先立ち、現状路床の不陸整正や必要に応じて仮排水溝の設置などを行う。
- ②所定量の安定材を散布機械または人力により均等に散布する。
- ③散布が終わったら、適切な混合機械を用いて所定の厚さまで混合する。混合中に混合深さの確認を行い、混合むらが生じた場合には再混合する。
- ④粒状の生石灰を用いる場合は一回目の混合が終了したのち仮転圧して放置し、生石灰の消化を待ってから再び混合する。ただし、粉状の生石灰（0～5mm）を使用する場合は、一回の混合で済ませてもよい。
- ⑤混合終了後、タイヤローラなどで仮転圧を行う。次に、ブルドーザやモーターグレーダで所定の形状に整形し、再度、タイヤローラなどで転圧を行う。軟弱で締固め機械が入れない場合には、湿地ブルドーザなどで軽く転圧を行い、数日間養生後、整形してタイヤローラなどで締め固める。なお、厚層で締め固める場合には、振動ローラを用いるとよい。
- ⑥散布および混合に際して粉塵対策を施す必要がある場合は、防塵型の安定材を用いたり、シートの設置などの対策をとる。

3) 置換え工法

置換え工法は、切土部分で軟弱な現状路床土がある場合等に、その一部または全部を掘削して良質土で置き換える工法である。

置換え工法の施工上の留意点を以下に示す。

- ・原地盤を所定の深さまで掘削し、掘削面以下の層をできるだけ乱さないように良質土を敷きならし、締め固めて仕上げる。
- ・置換え工法の一層の敷きならし厚さは、仕上がり厚で 20cm 以下を目安とする。

(2) 施工基盤：路盤層

1) 粒状路盤の施工

施工基盤の路盤層（粒度調整碎石）の施工は、材料分離に留意しながら 所定の仕上がり厚さが得られるように路盤材料を均一に敷きならし、所定の締固め度が得られるまで締固め、かつ所定の形状に平たんに仕上げる。

粒度調整路盤の一層の仕上がり厚さは 15cm 以下を標準とするが、振動ローラを用いる場合は上限を 20cm としてよい。

敷きならしは一般にモーターグレーダで行う。転圧は一般に 10～12t のロードローラと 8～20t のタイヤローラで行うが、これらと同等以上の効果がある振動ローラを用いてもよい。

路盤の施工における留意点を以下に示す。

- ・路盤材料が乾燥しすぎている場合は適宜散水し、最適含水比付近の状態で締固める。
- ・締固め前に降雨などにより路盤材料が著しく水を含み締固めが困難な場合には、晴天を待って曝気乾燥を行う。また、少量の石灰またはセメントを散布、混合して締固めることもある。

2) プライムコートの施工

路盤を仕上げた後、速やかにプライムコートを所定量均一に散布して養生する。プライムコートの散布は以下の目的で行う。

- ・路盤の上にアスファルト混合物を施工する場合は、路盤とアスファルト混合物とのなじみをよくする。
- ・路盤表面部に浸透し、その部分を安定させる。
- ・降雨による路盤の洗掘または表面水の浸透などを防止する。
- ・路盤からの水分の蒸発を遮断する。

通常、アスファルト乳剤（PK-3）を用いるが、これ以外に路盤への浸透性を特に高めた専用の高浸透性乳剤（PK-P）を使用することもある。これらの材料の散布量は一般に $1\sim 2\text{ t/m}^2$ が標準である。

プライムコートの施工における留意点を以下に示す。

- ・寒冷期などにおいては、養生期間を短縮するため加温して散布するとよい。
- ・散布したアスファルト乳剤が施工機械のタイヤ等に付着したり、はがれを防止するため、必要最小限の砂（通常 100 m^2 当たり $0.2\sim 0.5\text{ m}^3$ ）を散布するとよい。
- ・瀝青材料が路盤に浸透せず厚い被膜を作ったり、養生が不十分な場合には、上層の施工時にブリージングが起きたり、層間でずれて上層にひび割れを生じることがある。

（３）施工基盤：アスファルト混合物層（下層）

施工基盤：アスファルト混合物層（下層）は施工基盤（上層）の排水層に浸透した水が路盤以下に浸透するのを抑制する。また、舗装体下部からの水（地下水等）の浸水を抑制するために設置する。

加熱アスファルト混合物の施工の良否は舗装の供用性に大きな影響を与えるため、施工管理を適切に行い平たんに仕上げる。

施工基盤：アスファルト混合物層（下層）の施工手順および留意点を以下に示す。

１）舗設準備

混合物の敷きならしに先立ち、必要な機械器具の点検整備を行う。また、舗設前の路盤面のごみ、泥、浮き石などを取り除く。また、路盤に欠陥が生じている場合には手直しを行う。

継目の施工に当たっては、継目または構造物との接触面をよく清掃したのち、アスファルト乳剤を塗布する。

２）敷きならし

混合物は所定の厚さが得られるように、通常、アスファルトフィニッシャにより敷きならす。フィニッシャが使用できない箇所などにおいては、人力によって行う。

敷きならし時の混合物の温度はアスファルトの粘度にもよるが、一般に 110°C を下回らないようにする。

３）締固め

混合物は敷きならし終了後、所定の密度が得られるように締固める。締固め作業は、継目転圧、初転圧、二次転圧および仕上げ転圧の順序で行う。ローラは一般にアスファルトフィニッシャ側に駆動輪を向けて、横断勾配の低いほうから高い方へ向かい、順次幅寄せしながら低速かつ等速で転圧する。

① 初転圧は一般に 10～12t のロードローラで 2 回(1 往復) 程度行う。作業速度は 2～6km/h でヘアクラックが生じないできるだけ高い温度で行う。初転圧温度は一般に 110～140℃である。

② 二次転圧は一般に 8～20t のタイヤローラで行うが、6～10t の振動ローラを用いることもある。タイヤローラによる締固めは交通荷重に似た締固め作用により、骨材相互のかみ合わせをよくし深さ方向に均一な密度が得やすい。作業速度はタイヤローラが 6～15km/h である。振動ローラを使用する場合は、タイヤローラを用いるよりも少ない転圧回数で所定の締固め度が得られる。作業速度は 3～8km/h である。

転圧速度が速すぎると不陸や小波が発生する。また、遅すぎると過転圧になることもあるので転圧速度に注意する。二次転圧の終了温度は一般に 70～90℃である。

③ 仕上げ転圧は不陸の修正、ローラマークの消去のために行うものであり、タイヤローラあるいはロードローラで 2 回(1 往復) 程度行うとよい。二次転圧に振動ローラを用いた場合には、仕上げ転圧にタイヤローラを用いることが望ましい。仕上げた直後の舗装の上には、長時間ローラを停止させないようにする。

・敷きならし作業中に雨が降り始めた場合には、敷きならし作業を中止するとともに、敷きならした混合物をすみやかに締め固めて仕上げる。

・ローラへの混合物の付着防止には、少量の水、切削油乳剤の希釈液、または、軽油などを噴霧器等で薄く塗布するとよい。なお、軽油などはアスファルト混合物をカットバックする性質を持っているため、必要に応じて非石油系の付着防止剤を使用することがある。

・施工継目や構造物との接合部では締固めが不十分となりがちとなる。 所定の締固め度が得られない場合には不連続となり弱点となりやすいので施工継目はできるだけ少なくなるように計画する。

・縦継目は締固めが十分でないと継目部の開きや縦ひび割れなどが生じやすい。各層の継目の位置は下層の継目の上に上層の継目を重ねないようにする。また、車輪の走行位置直下にしないようにする。

ロードローラによる転圧方法の一例を図 5-3-1 に示す。

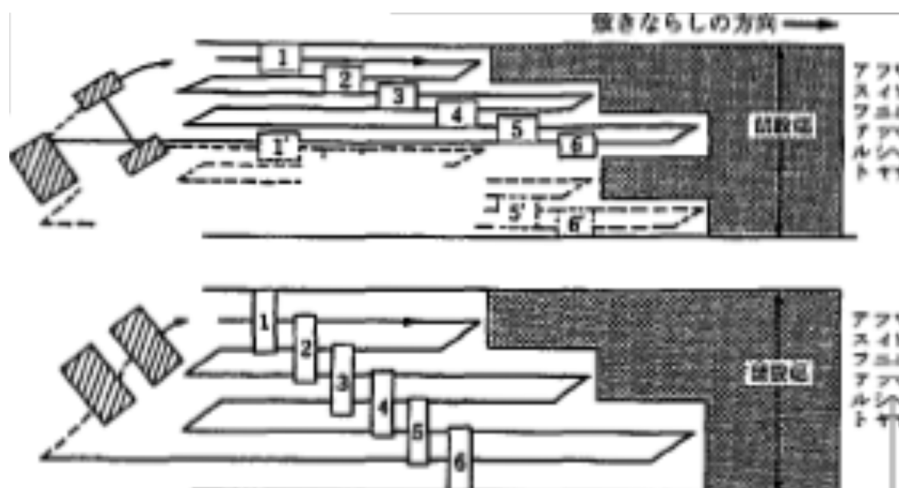


図 5-3-1 ロードローラによる転圧方法の一例

4) 交通開放温度

転圧終了後の交通開放は舗装表面の温度がおおむね 50℃以下となってから行う。交通開放時の舗装の温度は、舗装の初期のわだち掘れに大きく影響するが、表面の温度を 50℃以下とすることにより、交通開放初期の舗装の変形を小さくすることができる。

(4) 施工基盤：アスファルト混合物層（上層）

施工基盤：アスファルト混合物層（上層）は無線給電舗装に浸透した水を取り込み、排水施設に排出するために排水性混合物で構築する。

施工基盤：アスファルト混合物層（上層）の施工手順および施工上の留意点を以下に示す。

1) 導水パイプの敷設

施工基盤（上層：排水性混合物（以下、排水層とする））に浸透した水を効率的に排水施設（排水溝等）に処理するために、排水層の端部（縦断方向）に導水パイプを敷設する。導水パイプの外径は排水層に収まるものを使用する。

導水パイプに集水された水を排水施設に排水するために、一定間隔で排水施設に水抜き孔を設置する。道路の縦断勾配が小さく導水パイプ内に滞水が予測される場合は水抜き孔の間隔を密にする。

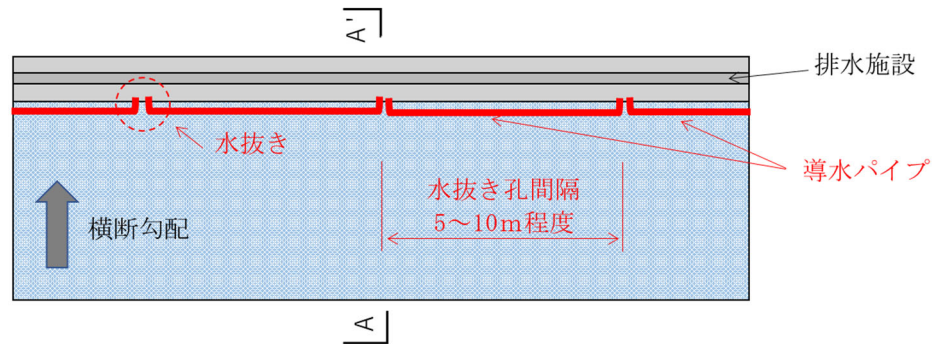
導水パイプの設置例を図 5-4-1 に示す。

表 5-4-1 導水パイプ水抜き孔の設置間隔の例

縦断勾配	設置間隔 (m)
1%以下	5
1%を超える場合	10

※ 道路橋床版防水システムガイドライン参照

(平面図)



(A-A' 断面図)

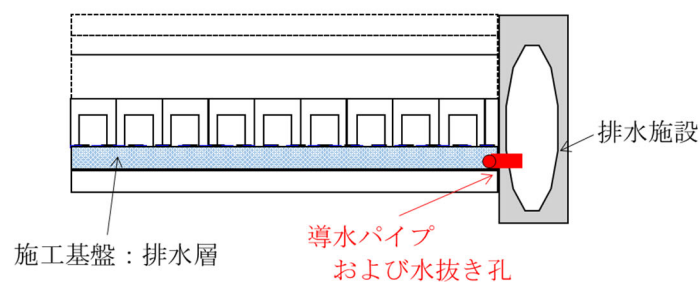


図 5-4-1 導水パイプの設置例

2) タックコートの施工

タックコートは舗設する混合物層とその下層との接着を良くするとともに、下層の防水処理としての役割が期待される。

タックコートは原則としてゴム入りアスファルト乳剤を使用し、所定量を均一に散布し養生する。タックコートの散布量は、一般に $0.4 \sim 0.6 \text{ kg/m}^2$ が標準である。

寒冷期の施工や急速施工の場合は、瀝青材料散布後の養生期間を短縮するために加温して散布する方法やロードヒータにより下層面を加熱する方法などの対策を検討する。

3) 敷きならし

敷きならしは原則としてアスファルトフィニッシャにより行い、所定の厚さが得られるように敷きならす。

敷きならしに当たり、留意すべき事項を以下に示す。

- ・排水性混合物の敷きならしは通常のアスファルト舗装の場合と同様に行うが、温度の低下が通常の混合物よりも早いため、できるだけすみやかに行う。

- ・敷きならし作業は、混合物の供給計画をもとに敷きならし速度を設定するなど、連続的に行う。
- ・排水性混合物の余盛厚は、フィニッシャの種類、混合物の配合などにより異なるため、試験施工あるいは過去の実績により決定するとよい。
- ・人力による施工は、均一な敷きならし面の確保が難しいため極力行わない。

4) 転圧

排水性混合物の締固めは、耐久性および機能性に大きく影響を及ぼすため、所定の締固め度を確保することが特に重要である。敷きならし後の温度低下が早いいため、温度管理には十分注意し、設定した温度で締固めが行えるよう敷きならし終了後すみやかに初転圧を行う。

締固めに使用する機械の種類および台数は、試験施工あるいは過去の実績をもとに、施工規模、施工時期なども考慮して決定するとよい。また、転圧温度ならびに転圧回数は使用するアスファルトの種類によっても異なるため、試験施工、過去の施工例などを参考に設定するとよい。

① 初転圧および二次転圧

初転圧は一般に 10～12t のロードローラを使用する。二次転圧は、初転圧に使用したロードローラで行うが、舗設条件に応じて 6～10 t の振動ローラ（無振）を使用する場合もある。

② 仕上げ転圧

仕上げ転圧はローラマーク消去のために行うが、一般に 6～10 t のタンデムローラあるいはタイヤローラを使用し、転圧回数は 2 回（1 往復）程度である。

締固め作業は、以下の点に注意して行う。

- ・ローラへの付着防止には、噴霧装置をローラに取り付け、少量の水や付着防止材を鉄輪に噴霧するとよい。
- ・仕上げ転圧にタイヤローラを用いる場合は、転圧温度が高すぎるとタイヤに混合物が付着しやすく、空隙つぶれの生じる懸念もあることから、混合物の表面温度がタイヤローラに付着しない温度（70℃程度）になってから行うのが望ましい。

5) 交通開放温度

転圧終了後の交通開放は舗装表面の温度がおおむね 50℃以下となってから行う。交通開放時の舗装の温度が高すぎると空隙つぶれにより排水機能に影響が生じることがある。

(5) グランド

グラントは給電効率を維持するために施工基盤と下層路盤（雨水浸透材）の界面に設ける金属板である。グラントは無線給電舗装内に侵入した水を速やかに施工基盤の排水層に排出させるために有孔板とする。

グラントは無線給電舗装の車線全幅に敷設し、テープ等で一体化させる。また、施工時の滑動、変形を予防するために施工基盤にコンクリート釘や接着剤等で固定する。

(6) 下層路盤：雨水浸透材

下層路盤は無線給電舗装内に浸透した水が滞留しないように高空隙で排水能力に優れる雨水浸透材で構築する。

下層路盤：雨水浸透材の施工手順および施工上の留意点を以下に示す。

1) 雨水浸透材の設置

下層路盤には送電電極とグラントの間に水分が滞留することを抑制するために、空隙が大きく透水能力を有し、誘電特性に優れる材料を用いる。

雨水浸透材は無線給電舗装の車線全幅に敷設する。また、施工時の滑動、変形を予防するためにグラントに接着剤等で固定する。

2) プラスチック板の設置

雨水浸透材の継目から上層部へのひびわれを抑制するために、雨水浸透材上面に硬質プラスチック板を設置する等の対策を行うことが望ましい。施工時の滑動、変形を予防するために雨水浸透材に接着剤等で固定する。

プラスチック板の継目と雨水浸透材の継目が同一断面にならないように留意して配置する。

3) 瀝青シートの設置

下層路盤と上層路盤の接着性を改善するために瀝青シートを無線給電舗装の車線全幅に敷設する。

上層路盤の滑動やブリージングを防止するために瀝青シートの素材および厚さを配慮する必要がある。

雨水浸透材およびプラスチック板の設置例を図 5-6-1 に示す。

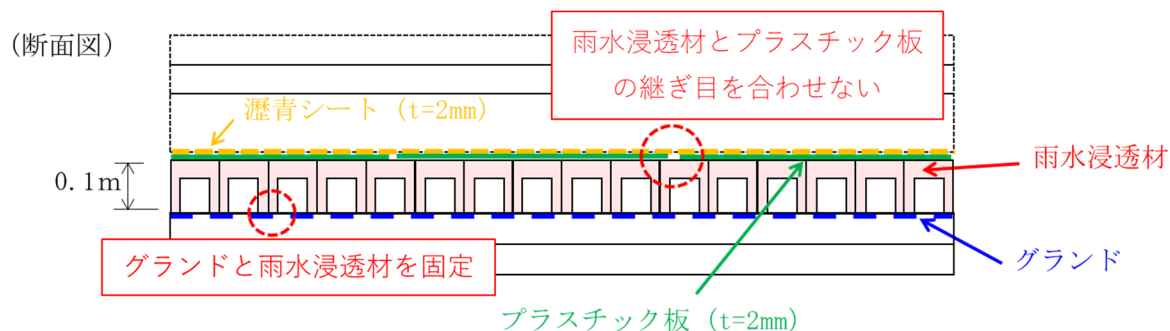


図 5-6-1 雨水浸透材およびプラスチック板の設置例

(7) 送電ケーブル

送電ケーブル配線の施工手順および施工上の留意点を以下に示す。

1) 送電ケーブルの設置

送電ケーブルを下層路盤内に配線する場合は、送電電極と送電ケーブルを接続する箇所の雨水浸透材、プラスチック板および瀝青シートに削孔を行う。

送電ケーブルは送電電極の設置高さまで立ち上げ、下層路盤内に配線した送電ケーブルは動かないようにグラウンドに固定する。また、送電ケーブルの外皮を剥がし、送電ケーブルのグラウンドと道路のグラウンドとを電氣的に共通化する。例えば、写真 5-7-1 に示すように送電ケーブルのグラウンドに平編銅線をはんだ付けし、平編銅線と道路のグラウンドを金属釘で共通化する。またこれら金属部分は水分による腐食を防止するため防水処理を施すことが望ましい。試験施工では、平編銅線を亜鉛テープで保護し、さらに防水テープによって防水処理を行っている。

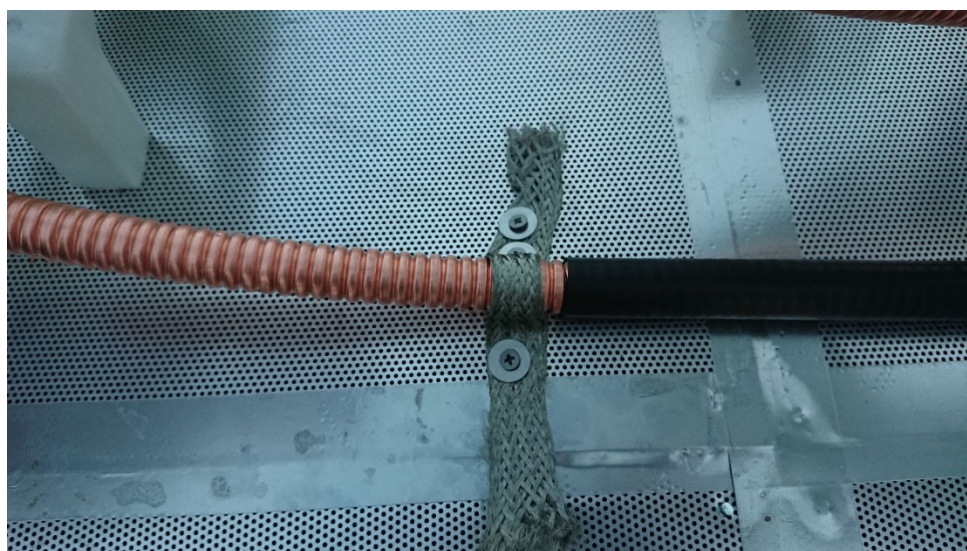


写真 5-7-1 送電ケーブルグラウンドと道路グラウンドとの接続例



写真 5-7-2 接続部の保護（亜鉛テープ）

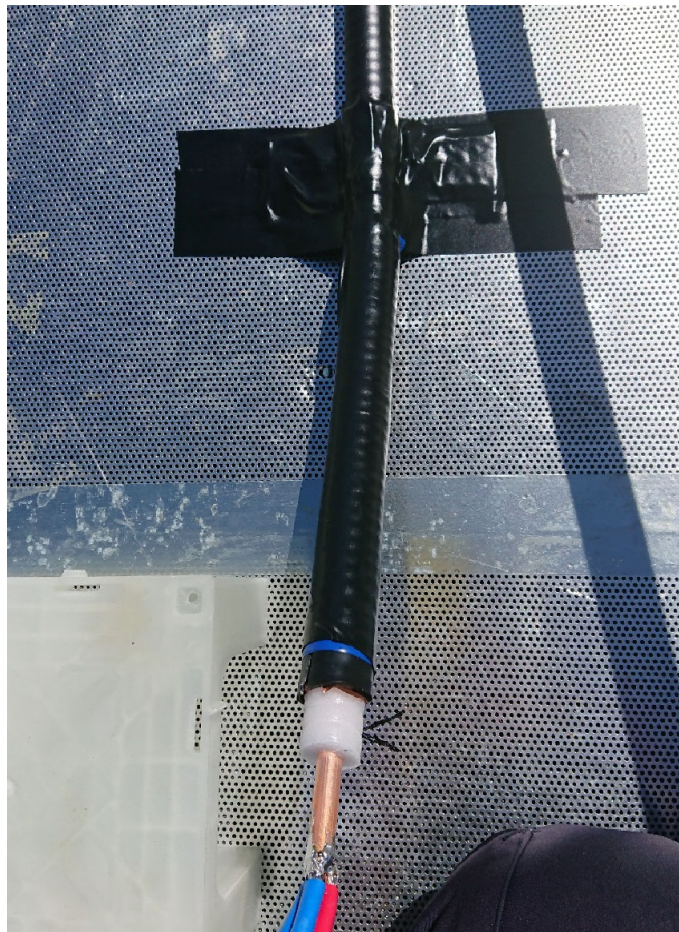
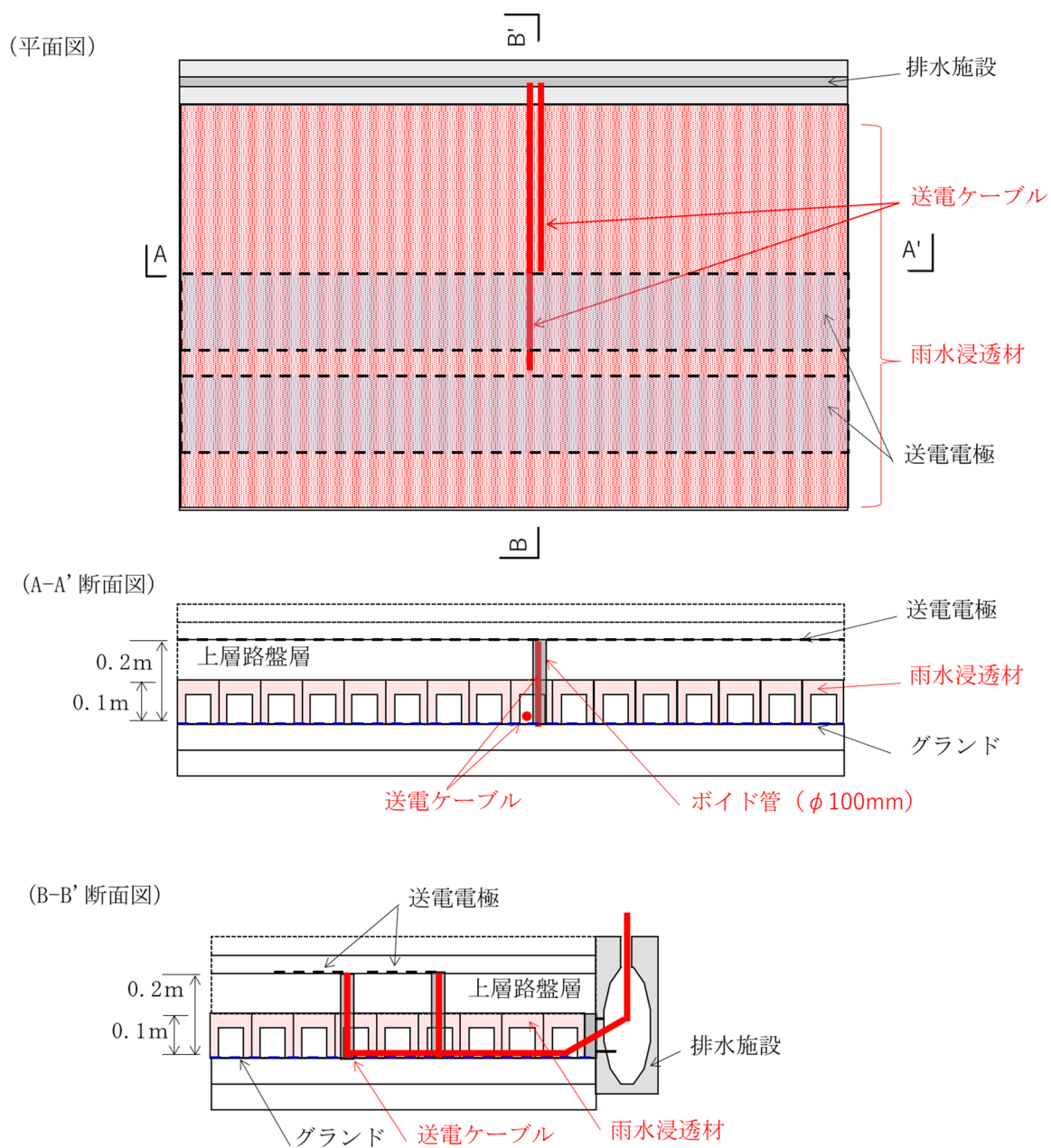


写真 5-7-3 接続部の保護（防水テープ）

2) 送電ケーブルの養生

立ち上げた送電ケーブルの保護および雨水浸透材内部に上層路盤材料が侵入するの

を防止するためにボイド管等で養生を行う。



送電ケーブルの設置例を図 5-7-1 に示す。

図 5-7-1 送電ケーブルの設置例

(8) 上層路盤

上層路盤の施工方法は「(3) 施工基盤：アスファルト混合物層（下層）」と同様である。

上層路盤の施工手順や施工時の留意点を以下に示す。

1) 敷きならし

無線給電舗装の上層路盤に用いる特殊アスファルト安定処理の敷きならしは、基本的には通常の加熱アスファルト混合物と同様にして行う。

特殊アスファルト安定処理の敷きならしは、原則としてアスファルトフィニッシュを用いる。

送電ケーブルを保護しているボイド管等の養生材にアスファルトフィニッシュや合材ダンプが接触しないように注意する。

2) 転圧

無線給電舗装の上層路盤に用いる特殊アスファルト安定処理の転圧は、基本的には通常の加熱アスファルト混合物と同様にして行い、可能な範囲で大型ローラを使用するとよい。

ローラへの付着防止には、噴霧装置をローラに取り付け、少量の水や付着防止材を噴霧するとよい。

コールドジョイント部は、温度が低下しやすく締固め不足になりやすいため、ガスバーナー等の使用により、直前に過加熱に注意しながら既設舗装端部を加熱しておくとうい。

3) 交通開放温度

転圧終了後の交通開放は舗装表面の温度がおおむね 50℃以下となってから行う。

(9) 送電電極

送電電極には電気特性に優れた材料を用いるが、設置方法による給電効率への影響が大きい。送電電極の施工手順および施工上の留意点を以下に示す。

1) 瀝青シート（下面）の設置

送電電極と上層路盤の付着性改善するために、送電電極の下面に瀝青シートを敷設する。

瀝青シートは基層用アスファルト混合物の熱で熔融し、送電電極と密着させるものとする。

2) 送電電極の設置

送電電極は車線中心線の左右に2列設置する。また、送電電極は車線中心線に対して平行とし、送電電極間の距離は一定とする。

送電電極は途切れないように継手長さを 10cm 以上確保する。送電電極と送電電極との間に、図 5-8-1 に示すような両面に金属テープを張り付けた絶縁シートを挟み込む。絶縁シートに張り付けた金属テープは 135mm の重ね幅とする（図 5-8-1 の場合 85mm の重ね幅となる）。絶縁シートを挟み込む際、砂などによる汚れが付着しないよう注意すること。絶縁シートは「4）瀝青シート（上面）の設置」作業時にずれが生じないように養生テープおよび釘で固定する。釘で固定する際、絶縁シート両面に張り付けた金属テープが釘により導通しないよう注意する。

送電電極は基層施工時にズレ等が生じないように固定する。

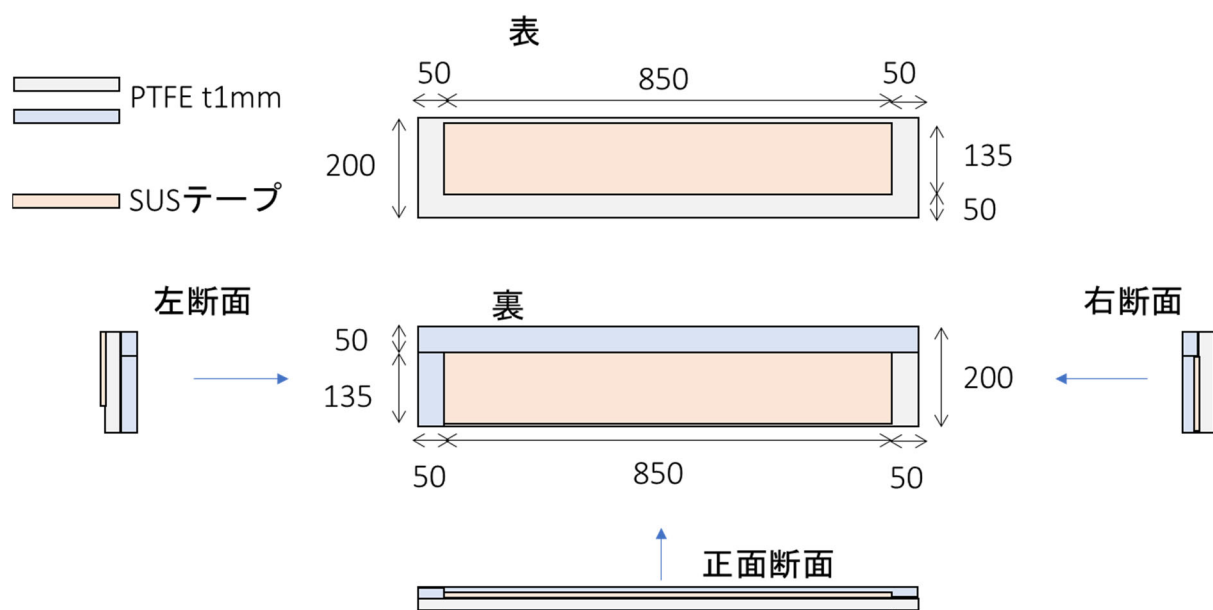


写真 5-8-1 絶縁シート施工例 1



写真 5-8-2 絶縁シート施工例 2

3) 送電ケーブルの接続

送電電極の端部と送電ケーブルを連結する。腐食等による破断が生じないように連結材料および連結方法には注意が必要である。

連結箇所を養生したのち、送電ケーブルを保護していたボイド管内部の空間は上層路盤と同様に給電効率が低下しない材料で埋め戻しを行う。ボイド管内部の埋戻し材は転圧が困難なため、無転圧でも水密性が高くなる混合物とする。

4) 瀝青シート（上面）の設置

送電電極の防水性向上および表面保護のために、送電電極全体を覆うように上面に瀝青シートを敷設する。

瀝青シートは基層用アスファルト混合物の熱で熔融し、送電電極と密着させるものとする。

基層の滑動やブリージングを防止するために瀝青シートの厚さは 2mm 以下とする。

(10) 基層

基層の施工方法は「(3) 施工基盤：アスファルト混合物層（下層）」と同様である。

基層の施工手順および施工上の留意点を以下に示す。

1) タックコート

タックコートは舗設する混合物層とその下層との接着を良くするとともに、下層の防

水処理としての役割が期待される。

タックコートは、施工機械の路面設置部や運搬車両のタイヤ等への付着を軽減し、剥離による層間接着力の低下を予防する改質アスファルト乳剤(PKR-T)を標準的に用い、所定量を均一に散布し養生する。タックコートの散布量は、一般に $0.4 \sim 0.6 \text{ ㍻} / \text{m}^2$ が標準である。

施工継目や排水施設との界面から水の侵入を防止するために、側面にもタックコートを塗布し、継目の開きが生じないように対策を行う。

2) 敷きならし

無線給電舗装の基層に用いる特殊アスファルト混合物（改質アスファルト混合物）の敷きならしは、基本的には通常の加熱アスファルト混合物と同様にして行う。

特殊アスファルト混合物の敷きならしは、原則としてアスファルトフィニッシャを用いる。

アスファルトフィニッシャや合材ダンプが送電電極上面を走行する際に、ねじり等により送電電極にズレが生じないように注意する

3) 転圧

無線給電舗装の基層に用いる特殊アスファルト混合物（改質アスファルト混合物）の転圧は、基本的には通常の加熱アスファルト混合物と同様にして行い、可能な範囲で大型ローラを使用するとよい。

改質アスファルト混合物の望ましい転圧温度は、製品により異なるので、詳細は製造メーカーの仕様を参考にするとよい。

ローラへの付着防止には、噴霧装置をローラに取り付け、少量の水や付着防止材を噴霧するとよい。

コールドジョイント部は、温度が低下しやすく締固め不足になりやすいため、ガスバーナー等の使用により、直前に過加熱に注意しながら既設舗装端部を加熱しておくとうい。

4) 交通開放温度

転圧終了後の交通開放は舗装表面の温度がおおむね 50°C 以下となってから行う。

(1 1) 表層

1) 表層の施工

表層の施工は、基本的に「(1 0) 基層」の施工と同様に行う。

施工に当たっては以下の点に留意する。

- ・施工継目や構造物との接合部では締固めが不十分となりがちとなる。 所定の締固め度が得られない場合には不連続となり弱点となりやすいので施工継目はできる

だけ少なくなるように計画する。

- ・縦継目は締固めが十分でないと継目部の開きや縦ひび割れなどが生じやすい。また、下層の継目の上に上層の継目を重ねないようにする。
- ・施工継目からの浸水により給電効率が低下する可能性がある。施工継目が送電電極上面にならないようにする。

2) 交通開放温度

転圧終了後の交通開放時の舗装温度は、舗装の初期のわだち掘れを小さくするためにおおむね 50℃以下となってから行う。

(1 2) 排水施設

施工基盤：アスファルト混合物層（上層）に浸透した水を速やかに排水処理施設に排水するため、車線の下流側に排水側溝を設けることを標準とする。排水側溝内の水が無線給電舗装内に侵入しないように、導水パイプ下端から排水側溝の管底までの距離が 10cm 程度確保できるように排水側溝の寸法を設定する。

排水側溝内に土砂等が堆積すると排水処理が阻害される可能性があるため、定期的に点検、清掃を行う必要がある。

(1 3) 養生

1) 上層路盤

上層路盤舗設後に降雨等により舗装表面に水が滞水すると、上層路盤内部に水が侵入し給電効率低下の要因となる可能性がある。上層路盤舗設から上部層を舗設するまでに時間がある場合は以下のような対策をとる必要がある。

- ・上層路盤に用いる混合物の表面性状が緻密になるように配合設計を行い、水の浸透を抑制する。
- ・上層路盤の表面にアスファルト乳剤を散布し、水の浸透を抑制する。
- ・上層路盤の表面に滞水しないように下流端部に排水処理対策を行う。
- ・上層路盤表面を防水シート等で覆い、水の侵入を抑制する。

2) 送電電極

瀝青シートが送電電極と溶着する前に雨水等が混入すると、水分が送電電極周辺に残留し、給電効率低下や送電電極の腐食の要因となる可能性がある。瀝青シート（下面）の施工から基層の舗設までに降雨等が予想される場合は、施工の中止または防水シート等による養生対策を実施する。

3) 基層

基層舗設後に降雨等により舗装表面に水が滞留すると、無線給電舗装内部に水が残留し、給電効率低下の要因となる可能性がある。基層舗設から表層を舗設するまでに時間

がある場合は以下のような対策をとる必要がある。

- ・ 基層の表面にアスファルト乳剤を散布し、水の浸透を抑制する。
- ・ 基層の表面に滞水しないように下流端部に排水処理対策を行う。
- ・ 基層表面を防水シート等で覆い、水の侵入を抑制する。

5. 2 アスファルト混合物の製造

(1) 新規混合物の製造

1) 貯蔵

碎石および砂は、種類ごとに分けてストックヤードに貯蔵する。また、アスファルトは、品質別に貯蔵する。表層、基層および上層路盤に用いるセラミック骨材や砂は一般骨材と混在しないように分別する必要がある。

各材料とも、常に必要な数量を貯蔵しておく。貯蔵にあたっては、骨材の分離を少なくする貯蔵方法なども考慮する必要がある。

また、ストックヤードに砂を貯蔵する場合は、雨や風に直接当たらないように屋根等の設備を設け、かつストックヤードの排水には十分に配慮することが望ましい。

2) 配合の決定

室内配合は製造する混合物の種類の種類範囲に入り、適切な粒度曲線が得られるように骨材配合比を設定したのち、マーシャル安定度試験に対する基準値を満足する範囲内で、設計アスファルト量を設定する。

加熱した骨材は、一定の粒度ごとにふるい分けられてホットビンに入る。プラント配合は各ホットビンの粒度を基づいて室内配合設計で得られた合成粒度を目標に、ホットビン骨材の配合率を求める。

プラント配合に基づいて試験練りを行い、プラントの混合性能および機械的特性を把握するとともに混合物の品質を確認する。以下の i ~ iv の結果から現場配合を決定する。

① ホットビンの配合比率の確認

各ホットビンの粒度と配合比率から混合物粒度が目標粒度になっていることを確認する。

② アスファルト量の決定：

室内配合による最適アスファルト量およびその前後のアスファルト量についてマーシャル安定度試験等を行い、その試験結果および混合物の観察結果からアスファルト量を決定する。

③ 目標とする混合温度の決定

目標締固め温度から、舗設時や運搬時の温度低下を考慮して目標とする混合温度

を設定し、練り上がり混合物温度から骨材の加熱温度を設定する。

④ 混合物の観察

製造した混合物は以下の点に注意して観察を行う。

- ・ 混合状態（アスファルトの付着状態を目視観察し、アスファルト量の過多、過少を判断）
- ・ 混合温度（混合物の色、排出時の煙の有無を観察し、混合温度の適否を判断する）
- ・ 作業性（混合物の粘着性、硬さ、柔らかさ、分離の状態などを感触により判断）
- ・ 締固めやすさ（タンパ等でたたいて、締固めやすさを判断）

3) 新規混合物の製造

品質の均一な新規混合物を製造するためには、プラントの連続運転、規格に適合し安定供給できる材料の選定、骨材のストック方法、骨材の湿潤化の防止などを検討する。

製造にあたっては以下の点について注意しなければならない。

- ・ 混合温度は 185℃を超えない範囲で、アスファルトの動粘度 150～300mm²/s のときの温度範囲とする。改質アスファルトの混合温度は、必ずしも粘度-温度曲線から求められるとは限らないので、製造者が提示する条件を参考に設定する。
- ・ 計量した骨材をミキサに投入し、空練りしたのちにアスファルトを噴射し、アスファルトが骨材にすべて被膜するまで混合する。過剰な混合は、アスファルトの劣化につながるのを避ける。
- ・ 細粒分の多い混合物などは、混合時間を長くしなければならない。
- ・ 最初のバッチはアスファルトがミキサの羽や壁につき、適切な配合となっていない場合があるので使用しないことが望ましい。

(2) 再生混合物の製造

1) 貯蔵

新規混合物に用いる碎石、砂およびアスファルトの貯蔵方法に加え、アスファルト再生骨材は気温が高い時には、団結するのを避けるため多量に貯蔵しないようにする。

2) 配合の決定

室内配合は製造する混合物の種類の粒度範囲に入り、適切な粒度曲線が得られるように骨材配合比を設定する。設計再生アスファルト量は、再生アスファルトの設計針入度に適合するように新アスファルト、再生用添加剤で調整し、マーシャル安定度試験に対する基準値を満足する範囲内で設定する。

加熱した骨材は、一定の粒度ごとにふるい分けられてホットビンに入る。プラント配合は新規骨材の各ホットビンの粒度およびアスファルト再生骨材のアスファルト抽出試験後のふるい分け結果に基づいて室内配合設計で得られた合成粒度を目標に骨材の配合率を求める。

プラント配合に基づいて試験練りを行い、プラントの混合性能および機械的特性を把握するとともに混合物の品質を確認する。

以下の①～④の結果から現場配合を決定する。

① 骨材粒度および再生アスファルト量の確認

各ホットビンおよびアスファルト再生骨材貯蔵ビンの粒度と配合比率から混合物粒度が目標の粒度にあっていることを確認する。

また、試験練りした再生混合物について、抽出試験により再生アスファルト量を確認すると同時にマーシャル安定度試験を行い、マーシャル性状を確認し、設定した再生アスファルト量が適切であることを確認する。

② 混合状態

混合の適否は、アスファルトの骨材への付着状態から確認する。不適当な場合は、混合時間を長くするなど、混合状態が適切と判断できる混合条件を定める。

アスファルト再生骨材の配合率が大きくなるにしたがって、混合時間を長くする。夏期に比べて冬期の混合時間を長くするなどの対策が必要である。

③ 目標とする混合温度の決定

目標とする混合温度は、再生アスファルトの動粘度 $150 \sim 300 \times 10 \text{ mm}^2/\text{s}$ の時の温度範囲から設定する。目標混合温度は、舗設時や運搬時の温度低下を考慮する。骨材加熱温度は、目標とする混合温度を確保できるように設定する。アスファルト再生骨材の含水量を考慮して新規骨材の加熱温度を設定する必要がある。

間接加熱混合式の場合は、新規骨材をかなり高温にしなければならない。

④ 混合物の観察

混合物の観察項目は新規混合物の観察項目に準じて行えばよいが、特に、再生混合物に含まれる水分については、注意して観察する必要がある。

3) 再生混合物の製造

品質の均一な再生混合物を製造するためには、プラントの連続運転、規格に適合し安定供給できる材料の選定、骨材のストック方法、骨材の湿潤化の防止などを検討する。

製造にあたっては新規混合物における注意点のほかに以下について留意が必要である。

- ・ 細かい粒度区分のアスファルト再生骨材を夏期に長時間貯蔵すると、団結してフィードからの引き出しが困難となるので点検が必要である。
- ・ 再生骨材の水分の除去、再生アスファルトの均質化、骨材内部温度の平均化などの面から混合時間を若干長くすることが望ましい。

(3) 混合物の貯蔵

無線給電舗装の表層、基層および上層路盤は給電効率に優れた特殊な材料を用いるため、一般の舗装材料と混在することができない。

混合物を加熱貯蔵の適用上の長所と短所を以下に示す。

長所

- ・ 混合物の製造出荷に際し、運搬車両の途切れなどに左右されずに連続的に混合物を製造することができるため、混合物の品質が安定し、管理が容易となる。
- ・ 出荷する混合物の種類や材料が異なる場合でも、貯蔵設備を活用することによって対応が容易になる。

短所

- ・ 長時間貯蔵された混合物は、品質の確認が必要である。
- ・ 設備投資のための費用が必要である。

混合物の貯蔵における留意点を以下に示す。

- ・ 混合物の温度は、混合直後の温度より 10℃以上低下しないように搬出することが望ましい。
- ・ 貯蔵ビンの排出口付近は特に温度低下が生じやすいため、温度管理および保温対策を行う必要がある。
- ・ サイロ内の混合物が少ないとアスファルトの劣化が進む傾向になるので、長時間貯蔵する場合にはサイロ内の混合物はできるだけ多く満たしておくことが望ましい。
- ・ 長時間混合物を貯蔵する場合は、定期的に回収アスファルトの針入度を測定し、劣化の程度を確認しておく。

5. 3 アスファルト混合物の運搬

(1) 運搬車

運搬車は、アスファルト混合物の温度低下を防止するシートなどを保有し、また異物が混じることがないように荷台を清掃したものとする。また、舗設機械（アスファルトフィニッシャ）などとの連携作業が円滑に行えるように整備されたものでなければならない。

運搬車の荷台は必要があればアスファルト混合物の付着を防止するために付着防止材を塗布する。しかし、多量に使用すると混合物がカットバックするなどの弊害があるので塗布方法は注意が必要である。

（２）運搬時間および距離

アスファルト混合物積込完了時から荷下ろしするまでの、アスファルト混合物の運搬時間は、一般に２時間程度までである。しかし、長時間あるいは長距離の運搬が余儀なくされる場合は、アスファルト混合物の特別な保温対策を行う必要がある。

（３）積込み

アスファルト混合物の分離と片積みを防止するため、荷台全体へ平均に積込むようにする。運搬車に積込んだ混合物を目視観察と温度測定により、粒度のばらつき、アスファルト量、混合むら、温度等を判断する。アスファルト混合物に異常が見られた場合は廃棄処分する。

（４）運搬

アスファルト混合物運搬時の保温対策は、一般に積込み後にアスファルト混合物にシートをかけることによって行っている。シートをかけることにより、運搬中のアスファルト混合物の飛散を防止することにもなる。冬期あるいは運搬時間が長い場合の対策はシートを２枚重ねにするなどがある。

（５）荷降ろし

アスファルトフィニッシャに荷下ろしする場合には、運搬車はフィニッシャの手前に停止し、フィニッシャに押し進められながら、誘導員の合図に従って徐々にアスファルト混合物を荷降ろしする。

6 維持管理方法

6. 1 舗装の現況調査

(1) 路面調査

1) 目視調査

目視調査では、目視観察や簡易な器具（スケール等）を用いて破損の状況を把握し、交通量や気象状況などの既存データなどを参考に破損の発生原因を推定（特定）する。目視調査の調査結果は技術者の経験等も加味され、破損の程度を評価する資料や構造調査の必要性を判断する資料となる。

目視調査は、路面の状況を詳細に観察し、記録するもので原則、徒歩により実施する。徒歩による調査が困難な場合は、車上より路面の状態を観察するとよい。

調査結果は調査表等で整理、記録し、必要に応じて観察図や写真を添付するとよい。また、交通量や気象条件、沿道環境、維持修繕履歴などの供用条件も把握し記録しておくとい。

目視調査の項目と調査内容を表 6-1-1 に示す。調査方法の詳細については、「舗装 調査・試験法便覧〔第 1 分冊〕、S001 破損状況の簡易調査方法」を参照するとよい。

表 6-1-1 目視調査の概要（アスファルト舗装の場合）

調査項目	調査内容
ひび割れ	○目視観察 ・ ひび割れの発生状態 ・ ひび割れの程度 ・ ひび割れ幅 ・ 下面からの析出物の確認
わだち掘れ	○目視あるいはスケール測定 ・ わだち掘れの程度 ・ 滞水や水はねの程度
段差、平坦性 (コルゲーション、くぼみ、 寄り、プリスタリング)	○目視あるいはスケール測定 ・ 周囲との高さの違い ・ 下面からの析出物の確認 ○感覚評価 ・ 車両走行による騒音、振動
ポットホール	○目視あるいはスケール測定 ・ ポットホールの面積や深さ ・ 周囲の状態 (油漏れの有無、フィラーの滲出など)

ポリッシング フラッシュ ブリージング (すべり抵抗の低下)	○目視あるいはスケール測定 ・ポリッシング面積 ・滞水や水はねの程度 ○感覚評価 ・車両走行による騒音、振動、すべり
剥離	○目視あるいはスケール測定 ・舗装表面へのフィラーの滲出の有無 ・部分的な沈下の面積や深さ
供用状況の把握	○交通量、気象条件、沿道状況、維持修繕履歴 等

2) 路面性状調査

路面性状調査は、舗装の路面状態（破損の程度）を数値化して把握するもので、調査試験機や器具等を用いて実施する。路面性状調査には、舗装路面のひび割れ率測定やわだち掘れ深さ測定、平たん性測定などがある。路面性状調査の調査結果は、破損の発生原因の推定（特定）や、維持修繕の対象となる区間の局所的な破損あるいは複合した破損の程度や路面性状を定量的に評価することで、維持修繕工法の選定や設計時の参考資料あるいは構造調査の必要性の判断資料となる。

アスファルト舗装の路面破損の種類とその調査項目および調査方法の例を表 6-1-2 および表 6-1-3 に示す。調査項目ごとの詳細な調査方法については、「舗装調査・試験法便覧」を参照するとよい。

表 6-1-2 路面破損の種類とその調査項目・方法（アスファルト舗装の場合）

調査項目	調査方法	破損の種類					
		ひび割れ		わだち掘れ	平たん性	その他の破損	
		線状	亀甲状			段差	ポットホール
舗装路面のひび割れ測定	S029	◎	◎	○	△	△	◎
舗装路面のわだち掘れ深さ測定	S030	△	○	◎	◎	△	△
舗装路面の平たん性測定	S028	△	△	△	◎	△	△
国際ラスネス指数（IRI）の調査	S032T	△	△	△	◎	△	△
舗装路面の段差測定	S031	△	△	△	△	◎	△

ポットホールの測定	S033T	—	—	—	—	—	◎
舗装路面のすべり抵抗測定	S021	△	△	△	△	△	△

表 6-1-3 路面破損の種類とその調査項目・方法（アスファルト舗装の場合）

調査項目	調査方法	破損の種類				
		その他の破損				
		剥離	ポリッシング	コルゲーション	寄り	くぼみ
舗装路面のひび割れ測定	S029	◎	△	△	△	△
舗装路面のわだち掘れ深さ測定	S030	○	△	△	○	○
舗装路面の平たん性測定	S028	○	△	◎	△	△
国際ラスネス指数（IRI）の調査	S032T	○	△	◎	△	△
舗装路面の段差測定	S031	○	△	△	△	△
ポットホールの測定	S033T	—	—	—	—	—
舗装路面のすべり抵抗測定	S021	△	◎	△	△	△

（２）構造調査

構造調査は、舗装の内部や舗装構造を詳細に把握するもので、FWD（Falling Weight Deflectometer：重錘落下たわみ測定装置）によるたわみ量測定や切取りコアの採取、開削調査などにより行う。

FWD で路面たわみ量を測定することで、舗装の支持力が十分か、また解析によりどの層が損傷しているかを推定することができる。

切取りコアにより直接ひび割れ幅やひび割れ深さなどを測定することができる。また、ひび割れ部のみだけでなく、ひび割れ端部やひび割れの止まっている先の部分からコアを採取すると、ひび割れの発生がアスファルト混合物層上面からか下面からかがわかる場合が多い。

わだち掘れ箇所においては、切り取りコアの各層の厚さを測定することで、変形が表層のみかあるいは基層まで及んでいるかなどを確認することができる。

採取したコアを用いて、混合物の粒度分布や回収アスファルトの性状、混合物の諸性

状を把握する試験も実施可能である。

開削調査は、路面を開削するためかなり大がかりな調査となるが、各層の厚さ測定、採取した試料による CBR 試験や材料試験を実施することで破損の原因を特定できる場合が多い。また、路床・路盤とアスファルト混合物層下面を比較的広範囲にわたって直接確認できるので、より確かな修繕工法の選定に繋げることができる。

切取りコアや開削調査による構造調査は送電電極や送電ケーブル等が破損し、無線給電システムの再構築する必要性が生じる恐れがある。構造調査前に送電電極や送電ケーブルの設置箇所を把握するために電磁波レーダ等の非破壊調査を行うことが有効である。

構造調査は、破損の深さ方向の範囲や構造破損の有無が、路面性状調査の結果からだけでは判断しにくい場合に行うとよい。構造調査の実施判断の目安としては以下のよう
なことがあげられる。

- ・ 路面性状のみでは深さ方向の破損の範囲を特定しにくい場合
- ・ 沈下を伴ったひび割れやわだち掘れが発生し、破損の特徴から支持力不足が考えられる場合
- ・ 維持修繕工法を選定する上での区分が M、H と判断された場合【6. 2 舗装の評価方法
- ・

（2）路面性能の評価 を参照】

構造破損の種類とその調査項目および調査方法を表 6-1-4～表 6-1-7 に示す。調査項目ごとの詳細な調査方法については、「舗装調査・試験法便覧」を参照するとよい。

表 6-1-4 構造破壊の種類とその調査項目・方法（アスファルト舗装の場合）

調査項目	調査方法	破損の種類					
		ひび割れ					
		線状					
		疲労ひびわれ	わだち割れ	施工目地ひび割れ	リフレクションクラック	温度応力ひび割れ	路床・路盤の支持力低下によるひび割れ
FWD によるたわみ量測定 （弾性係数、路床支持力、舗装の健全度など）	S047	○	○	△	△	△	◎
コア採取 （各層の厚さ、ひび割れ深さ、密度測定など簡易な計測）	S002	○	◎	○	○	○	△
コア採取 （抽出試験、強度試験等を実施）	S002	○	○	△	△	△	△
開削調査 （各層の厚さ、路床・路盤材の性状、路盤支持力など）	S002	△	△	△	△	△	○

「◎」 必須項目、「○」 望ましい調査項目、「△」 必要に応じて実施する調査項目

表 6-1-5 構造破壊の種類とその調査項目・方法（アスファルト舗装の場合）

調査項目	調査方法	破損の種類					
		ひび割れ			わだち掘れ		
		亀甲状					
		路床・路盤の沈下によるひび割れ	アスファルト混合物の劣化・老化によるひび割れ	基層の剥離によるひび割れ	路床・路盤の圧密沈下	流動	摩耗
FWD によるたわみ量測定 （弾性係数、路床支持力、舗装の健全度など）	S047	◎	◎	△	○	△	△
コア採取 （各層の厚さ、ひび割れ深さ、密度測定など簡易な計測）	S002	◎	○	◎	◎	◎	○
コア採取 （抽出試験、強度試験等を実施）	S002	○	○	◎	○	○	△
開削調査 （各層の厚さ、路床・路盤材の性状、路盤支持力など）	S002	○	△	○	△	△	△

表 6-1-6 構造破壊の種類とその調査項目・方法（アスファルト舗装の場合）

調査項目	調査方法	破損の種類			
		平坦性	その他の破損		
		縦断方向の凹凸	段差	ポットホール	剥離
FWD によるたわみ量測定 (弾性係数、路床支持力、舗装の健全度など)	S047	◎	◎	◎	◎
コア採取 (各層の厚さ、ひび割れ深さ、密度測定など簡易な計測)	S002	○	○	◎	◎
コア採取 (抽出試験、強度試験等を実施)	S002	○	○	○	○
開削調査 (各層の厚さ、路床・路盤材の性状、路盤支持力など)	S002	△	△	△	○

表 6-1-7 構造破壊の種類とその調査項目・方法（アスファルト舗装の場合）

調査項目	調査方法	破損の種類			
		その他の破損			
		ポ リ ッ シ ン グ	コ ル ゲ ー シ ョ ン	寄 り	く ぼ み
FWD によるたわみ量測定 (弾性係数、路床支持力、舗装の健全度など)	S047	—	△	△	◎
コア採取 (各層の厚さ、ひび割れ深さ、密度測定など簡易な計測)	S002	△	○	○	○
コア採取 (抽出試験、強度試験等を実施)	S002	△	△	△	△
開削調査 (各層の厚さ、路床・路盤材の性状、路盤支持力など)	S002	—	△	△	△

6. 2 舗装の評価方法

アスファルト舗装の破損の主なものには、ひび割れやわだち掘れ、平坦性の低下があげられ、その他の破損として、段差、ポットホール、剥離などがある。

これら舗装の破損の発生原因としては、供用による疲労に起因するもの、材料に起因するもの、設計に起因するもの、施工に起因するものなどがあり、破損の種類（発生形態）にかかわらずそれらの要因が相互に影響していることが多い。したがって、破損の状態と原因を把握し舗装の現状を適切に評価することが、維持修繕の要否判断、または維持修繕工法の選定や設計を行うために重要となる。

(1) 破損の分類と評価区分

舗装の破損は、「路面破損」と「構造破損」に大別される。路面破損とは、表層や路面に破損の原因があり、そのみが破損しているものである。また、構造破損とは、基層以下が原因で表層や基層が破損している場合あるいは路面破損が進行して、舗装の構造・機能が直接的に阻害されて耐久性に影響を及ぼしている破損をいう。

路面破損の場合は維持で対応する場合が多く、表層または表層と基層の修繕での対応となる。なお、路面破損は供用とともに構造的に影響を及ぼすことがあるので、なるべ

く早期に維持管理を実施するとよい。

構造破損の場合は、アスファルト舗装の表層および基層にとどまらず、路盤、施工基盤および路床にまで損傷が及んでいることから、舗装構造などの検討を行うことが多い。

したがって、舗装の調査結果を踏まえて破損の程度から路面破損か構造破損かを判断し維持修繕の工法検討を行うことが重要となる。

(2) 路面性能の評価

維持修繕の要否を判断する主な破損は、「ひび割れ」や「わだち掘れ」があげられる。主な破損の評価方法と維持修繕工法を選定する上での区分(以下、工法選定上の区分 L、M、H)について記述する。また、これら主な破損以外のものについても「その他の破損」として、その評価方法や工法選定上の区分について概説する。

1) ひび割れ

① 路面調査からの評価

路面調査結果からの評価では、目視調査より判断したひび割れの程度や路面性状調査より得られたひび割れ率から維持修繕の要否を判断し、ひび割れの発生位置や形態、沿道状況、工事履歴などから発生原因を推察して、維持修繕工法を選定することになる。

維持修繕工法の選定に当たっては、表 6-2-1 に示す工法選定上の区分の目安を参考にするとよい。なお、工法選定上の区分 M、H に該当するひび割れ箇所については、構造調査により深さ方向の状態を詳細に評価し、修繕工法の選定、設計を行うことが望ましい。

表 6-2-1 ひび割れ率による工法選定上の区分の目安

	L	M	H
ひび割れ率 (%)	10 程度以下	10～20 程度	20 程度以上

注 1：無線給電舗装は自動車専用道路への適用を想定し、L、M、H のそれぞれの値は、「道路維持修繕要綱」や実績などを踏まえて設定

工法選定上の区分がLの場合でも、構造破損の場合もあり、ひび割れの種類や形態から路面破損なのか、構造破損なのかを評価することになる。表 6-2-2 はひび割れの形態と破損の分類を示したものであり、ひび割れの破損の分類を評価する際の参考にするといふ。

表 6-2-2 ひび割れの形態と破損の分類

ひび割れの形態		破損の分類	
		路面破損	構造破損
疲労ひび割れ	線状		◎
わだち割れ	線状	◎	○
施工継目のひび割れ	線状	◎	
リフレクションクラック	線状		◎
温度応力ひび割れ	線状	○	○
路床・路盤の支持力低下におけるひび割れ	亀甲状		◎
路床・路盤の沈下によるひび割れ	亀甲状		◎
アスファルト混合物の劣化・老化によるひび割れ	亀甲状	○	○
基層の剥離によるひび割れ	亀甲状	○	○

注) ◎：特にその破損である可能性が強い ○：いずれの破損も可能性がある

2) わだち掘れ

① 路面調査からの評価

わだち掘れの路面調査からの評価では、目視調査より推察したわだち掘れ深さの程度や路面性状調査より得られたわだち掘れ深さから維持修繕の要否を判断し、わだち掘れの形状や発生形態、沿道状況や工事履歴などから推察した発生原因を考慮して、維持修繕工法を選定することになる。

維持修繕工法の選定に当たっては、表 6-2-3 に示す工法選定上の区分の目安を参考にするとよい。

この工法選定上の区分をもとに次節で記述する維持修繕工法の選定や路面設計、構造設計を行うことになる。なお、工法選定上の区分 M、H に該当するわだち掘れ箇所については、構造調査により舗装内部の状態を詳細に評価し、修繕工法の選定、設計を行うことが望ましい。

表 6-2-3 わだち掘れ深さによる工法選定上の区分の目安

	L	M	H
わだち掘れ深さ (mm)	15 程度以下	15～25 程度	25 程度以上

注 1：無線給電舗装は自動車専用道路への適用を想定し、L、M、H のそれぞれの値は、「道路維持修繕要綱」や実績などを踏まえて設定

わだち掘れの工法選定上の区分が L の場合でも構造破損の場合もあり、わだち掘れの形態から路面破損なのか、構造破損なのかを評価することになる。表 6-2-4 はわだち掘れの形態と破損の分類を示したものであり、破損分類を評価する際の参考にする
とよい。

表 6-2-4 わだち掘れの形態と破損の分類

わだち掘れの形態	破損の分類	
	路面破損	構造破損
路床・路盤の圧縮変形		◎
アスファルト混合物の塑性変形	◎	○
アスファルト混合物の摩耗	◎	

注) ◎：特にその破損である可能性が強い ○：いずれの破損も可能性がある

3) その他の破損の評価

アスファルト舗装のその他の破損には、平坦性の低下や段差、ポットホールなどがある。これらの破損は、主に路面調査の結果により評価を行う。その評価方法の例を以下に示す。その他の破損は、予め設定した工法選定上の区分の目安やパトロール中の走行性などから、維持修繕の可否を判断するとよい。また、ポットホールなど部分的な破損が多発した箇所は構造破損も考えられるので、修繕工法の選定に当たっては構造調査も行うとよい。

① 平坦性の低下

平坦性の低下は、乗り心地の悪化、騒音や振動の発生の原因となることがあるので適切に維持管理を行う必要がある。平坦性は、縦断方向の凹凸の程度で評価を行う。縦断方向の凹凸など、ある程度の延長を有する区間の平坦性を評価する場合には 3m プロフィールメータなどによる測定を適用するとよい。

なお、この破損は路面破損である場合が多いが、支持力不足など構造破損による場合もある。

② 段差

段差は、乗り心地を悪くしたり、走行車両により振動・騒音を引き起こしたり、ときには構造物を破損させることもある。

したがって、路面に段差が発生している箇所は、沿道状況、交通条件等を考慮し、適切に維持管理していくことが肝要であり、その程度によっては緊急の対応（維持工法等の実施）が必要となる。

なお、この破損は路面破損である場合が多いが、路盤層以下の締固めが不十分な場合や構造破損による場合もある。

③ ポットホール

ポットホールは、乗り心地を悪くさせるばかりでなく、交通事故を誘発する原因となることもあるので発見次第緊急の対応（維持工法等の実施）を行う必要がある。

なお、ポットホールが多発した箇所は構造破損も考えられるが、一般に破損の分類は路面破損である場合が多い。

④ 剥離

剥離が始まっていると、舗装表面にフィラーや細骨材などの細粒分が滲出することが多く、このような現象を認めた場合、できるだけ早い段階で切取りコアの採取や開削を行い、剥離の発生の有無を確認するとよい。

なお、現場で剥離の発生の有無を確認する方法は、路面状態や採取したコア、開削した断面の状態などの目視観察と、採取した混合物の強度試験による耐水性の評価、抽出試験によるアスファルト量や粒度の把握であり、技術的な判断を行う。

⑤ ポリッシング

すべり抵抗性の低下は交通事故を誘発する原因となることもある。したがって、ポリッシングが発生している箇所では、その前後の舗装のすべり抵抗値を測定し、すべり抵抗性の低下を評価する。走行速度 60km/h を想定する道路において、ポリッシングが認められた場合のすべり抵抗値による工法選定上の区分の目安（路面性状調査）を表 6-2-5 に示す。ここでは、すべり抵抗値の評価をすべり抵抗測定車を用いて行った場合を示しているが、その他の機器により測定したすべり抵抗値については、「舗装性能評価法 ― 必須および主要な性能指標編 ―（平成 25 年版）」を参照するとよい。

なお、この破損は路面破損である場合が多い。

表 6-2-5 すべり抵抗値による工法選定上の区分の目安

測定方法	すべり抵抗値の低下程度（すべり摩擦係数： μ 60）	
	M	H
すべり抵抗測定車	0.25～0.33 程度	0.25 程度以下

注：M、Hは、「道路維持修繕要綱」や実績などを踏まえて設定

⑥ コルゲーション

コルゲーションの程度は、凹凸量や発生規模（面積）により破損の程度を評価するが、明確な維持修繕の要否判断目安はなくパトロール車の走行性などから判断することになる。なお、この破損は路面破損である場合が多い。

⑦ くぼみ

アスファルト舗装のくぼみは、路面の沈下量や発生規模（面積）により破損の程度を評価するが、明確な維持修繕の要否判断目安はなくパトロール者の走行性などから判断する。

なお、この破損は路面破損である場合が多いが、基層が変形していることもあるので、コア採取により各層の厚さを確認するなどし、維持修繕工法を選定するとよい。

⑧ 寄り

アスファルト舗装の寄りは、路面の盛り上がり量や発生規模（面積）により破損の程度を評価するが明確な維持修繕の要否判断目安はなくパトロール車の走行性などから判断することになる。

なお、この破損は路面破損である場合が多いが、基層が変形していることもあるので、コア採取により各層の厚さを確認するなどし、維持修繕工法を選定するとよい。

⑨ 路面陥没

路面陥没は、道路に損傷を与えるのみではなく、道路や沿道の機能を麻痺させ、交通事故による人的被害をも発生させる可能性がある。よって、路面陥没を未然に防ぐために路面下の管理特に空洞の発見が重要となる。しかし、地下埋設物の老朽化・劣化や自然現象などいろいろな要因での空洞発生が考えられるため、日常の道路パトロールによる目視と路面空洞探査車等による空洞探査とを組み合わせ、効果的、効率的な陥没防止を行うとよい。

路面下空洞の判定は、電磁波レーダで得られる空洞の異常信号の位置データ等と地盤、地形、地下水位、舗装構造、地下埋設物件、工事履歴、交通量等の周辺情報を活用して行う。

（３）舗装構造の評価

１）ひびわれ

ひび割れ部の構造調査は舗装の破損が路面破損か構造破損かをより正確に把握するために実施する。ひび割れ部の構造調査には、切取りコアの採取や開削調査、FWD によるたわみ量測定などがあり、アスファルト舗装内部や路床状態を詳細に評価することになる。これら構造調査での既設アスファルト舗装の評価方法を示す。

1. コア採取や開削調査による評価

コア採取や開削調査による評価では以下について確認および試験を行い、これらの結果より、ひび割れの発生原因を特定する。

- ・ひび割れがどの層まで及んでいるかの目視観察
- ・アスファルト混合物等の強度試験
- ・アスファルトの量や劣化の確認（アスファルト回収試験、バインダ試験等）
- ・アスファルト混合物等の粒度確認（アスファルト抽出試験、ふるい分け試験等）

2. FWD のたわみ量による評価

FWD による調査では、測定たわみ量を使用し舗装の健全度を評価することが可能である。たわみ量を用いる方法と舗装各層の弾性係数を求める方法に大別される。

○たわみ量を用いる方法

（載荷点直下のたわみ量による舗装体支持力評価）

載荷点直下のたわみ量（ D_0 ）は舗装の支持力の健全度を評価する目安となる。測定たわみ量と表 6-2-6 に示す交通量区分別の許容たわみ量の目安から、舗装の支持力の健全度を評価し、舗装の破損が路面破損か構造破損かを判断する。

表 6-2-6 供用時における交通量区分別の許容たわみ量の目安

舗装計画交通量 (台/日・方向)	100 以上 250 未満	250 以上 1,000 未満	1,000 以上 3,000 未満	3,000 以上
設計交通量の区分	N4	N5	N6	N7
許容たわみ量 (μm)	900	600	400	300

（たわみ縦断図による異常箇所の評価）

ひびわれ発生箇所前後の測定たわみ量を用いてたわみ縦断図を作成し、たわみ量の減衰傾向から舗装の破損が路面破損か構造破損かを判断する。

○舗装各層の弾性係数を求める方法

（舗装各層の弾性係数から評価）

測定たわみ量を用いた逆解析により舗装各層の弾性係数を推定し、ひびわれの発生原因を推測する。

2) わだち掘れ

わだち掘れ部の構造調査は、路面破損か構造破損かをより正確に把握するために実施

される。 わだち掘れ部の構造調査には、切取りコアの採取や開削調査などがあり、アスファルト舗装内部の状態を把握する。

○コア採取や開削調査による評価

コア採取や開削調査による評価では以下について確認を行い、わだち掘れの発生原因を特定し、修繕工法の選定や構造設計を行う際の参考資料とする。

- ・わだち掘れがどの層まで及んでいるかの目視観察
- ・わだち掘れの発生が下層路盤（雨水浸透材）以下の影響によるものかなどを評価

6. 3 維持・修繕方法

無線給電舗装体内に水が浸透すると給電効率の低下するため、舗装表面に発生したひび割れは適切に維持・修繕を行う必要がある。また、わだち掘れにより舗装表面の滞水を防止する必要がある。損傷の程度により維持・修繕方法を選定する必要がある。

「6. 2 舗装の評価方法」に示した工法選定上の区分の目安毎に維持・修繕方法の目安を以下に示す。

表 6-3-1 維持・修繕方法の目安（ひび割れ率）

損傷項目	破損形態	工法選定上の区分の目安		
		L 10 程度以下	M 10～20 程度	H 20 程度以上
ひび割れ率 (%)	路面破損	シール材注入工 法	シール材注入工 法	切削オーバーレ イ工法
	構造破損	シール材注入工 法	切削オーバーレ イ工法	全層打換え工法

表 6-3-2 維持・修繕方法の目安（わだち掘れ深さ）

損傷項目	破損形態	工法選定上の区分の目安		
		L 15 程度以下	M 15～25 程度	H 25 程度以上
わだち掘れ深 さ (mm)	路面破損	切削オーバーレ イ工法	切削オーバーレ イ工法	切削オーバーレ イ工法
	構造破損	切削オーバーレ イ工法	切削オーバーレ イ工法 部分打換え工法	部分打換え工法 全層打換え工法

(1) 舗装の維持

1) シール材注入工法

シール材注入工法は、アスファルト舗装面に発生したひびわれにシール材を充填して雨水等の進入を遮断し、舗装の破損を遅延させるために行う工法である。また、シール材の充填をより確実にするために、ひびわれに沿ってカッタを用いて溝を設けて開口幅を確保する事前処理工を適用する場合もある。

シール材には、ブローンアスファルトやゴム等で改質した加熱アスファルト系、常温施工できるアスファルト乳剤系や樹脂系の材料がある。これらの材料の中から、ひびわれの損傷程度、ひびわれ幅、路面の乾湿の状態、気温、可使時間などに応じて適用できるものを選定する。

① 加熱アスファルト系シール材による注入工法

加熱アスファルト系シール材による注入工法は、アスファルト・ゴム等からなる加熱注入式シール材を注入する工法である。高温時の流動・流出および低温時の脆化・硬化破壊がなく、接着性が高く、弾力性に優れているため膨張・収縮に良く順応する。後述する樹脂系シール材と比較して粘性が高いため、比較的幅の広い（5～10mm 程度）ひびわれの補修に適用する。

加熱アスファルト系シール材を用いた施工手順例を以下に示す。

1. ひびわれ周囲に緩んだ部分があれば取り除き、ひびわれ内部のごみや泥を清掃する。施工面が湿潤状態の場合は、バーナなどを用いて十分に乾燥させる。
2. シール材を所定の温度で加熱溶解する。
3. 材料の特性に応じて、プライマを塗布する。
4. シール材をひびわれに沿って流し込む。余剰分はケレン等ですき取り、表面を成型する。
5. 必要に応じて、砂等を散布し、タイヤへの付着防止を図る。
6. シール材が十分硬化したことを確認したのち、交通開放する。

② アスファルト乳剤系シール材による注入工法

アスファルト乳剤系シール材には、特殊アスファルト乳剤系液剤とセメント系固化材を混合するものや、二液混合型ゴム化アスファルト乳剤タイプなどがあり、いずれも常温で施工が可能である。これらの材料の多くは、湿潤面への適用も可能である。施工に際しては、材料の可使時間内に素早く注入作業を行う必要がある。

二液混合型ゴム化アスファルト乳剤系シール材を用いた施工手順例を以下に示す。

1. ひびわれ周囲に緩んだ部分があれば取り除き、ひびわれ内部のごみや泥を清掃する。

2. 外気温に応じた量の硬化剤を主剤の入った容器へ入れ、よく混合する。
3. 混合したシール材をひびわれに沿って注入する。余剰分はケレン等ですき取り、表面を成型する。
4. 必要に応じて、砂等を散布し、タイヤへの付着防止を図る。
5. シール材が十分硬化したことを確認したのち、交通開放する。

③ 樹脂系シール材による注入工法

樹脂系シール材による注入工法は、エポキシ樹脂や MMA 樹脂などの常温硬化型樹脂系シール材を注入する工法である。使用材料にもよるが、一般的に硬化が速く、低温でも硬化し、柔軟性がありひびわれに追従しやすいため、作業性に優れ迅速な施工が可能である。このような柔軟性から、幅の狭いひびわれ(5mm 程度以下)にも適用できる。

エポキシ樹脂系シール材を用いた施工手順例および留意点を以下に示す。

1. ひびわれ周囲に緩んだ部分があれば取り除き、ひびわれ内部のごみや泥を清掃する。材料により施工面の乾湿状態に条件があるので、メーカーの技術資料などを確認するとよい。
2. 硬化剤を主剤の入った容器に入れ、よく混合する。
3. 混合したシール材を可使時間内に素早くひびわれに沿って注入する。余剰分はケレン等ですき取り、表面を成型する。
4. シール材が十分硬化したことを確認したのち、交通開放する。

(2) 舗装の修繕

修繕工法は、維持工法では十分な回復効果が期待できない場合に実施されるもので、切削オーバーレイ工法、打換え工法(部分、全層)等がある。修繕工法はいずれも工費のかさむものであるから、工法等の選定は十分な調査を行い、破損の原因、破損箇所を考慮して慎重に検討しなければならない。

1) 切削オーバーレイ工法(表層・基層打換え工法)

切削オーバーレイ工法は、既設アスファルト混合物層の一部を切削した後にオーバーレイを行う工法である。

切削オーバーレイ工法の作業手順例および留意点を以下に示す。

1. 準備工(計画)

無線給電舗装では基層と上層路盤の層間に送電電極を設置しているため、切削の対象は表層または表層および基層の一部とする。

施工ジョイントからの雨水が浸透する可能性がある。施工範囲は送電電極上に施工ジョイントを設けないように設定する。

2. 切削

切削時に送電電極を破損しないように、送電電極上面の既設舗装を 2cm 以上残存するように切削深さを設定する。送電電極の設置深さ、位置の確認は電磁波レーダ等の非破壊調査で行うことが望ましい。

切削機械が左右に傾いたり、進行方向に上下しないよう注意し、計画高さに合わせて正確に切削しなければならない。

最近では、切削ドラムのビットのピッチを非常に小さくしてきめの細かな仕上げとする工法も開発されている。この工法は、従来のものより低騒音、低振動で施工できる。

切削溝の中には切削屑などが残りやすいので取り残さないよう注意する。

3. 下地処理

オーバーレイの施工に先立ち、既設アスファルト舗装の破損箇所はその状況に応じて補修をしておかなければならない。切削面にひびわれを生じているときは、必要に応じてシール材注入やリフレクションクラック対策を行う。特にオーバーレイの厚さが薄い場合は、既設舗装のひびわれが影響して表層にリフレクションクラックが生じやすい。

リフレクションクラック抑制工法には、既設舗装上に薄層の応力緩和層を設ける工法や基層に砕石マスチックなどのアスファルト混合物を用いる工法などがある。リフレクションクラック抑制のために用いる材料は給電効率が優れたものとする。

オーバーレイの施工にあたっては路面を清掃しごみ、泥などを取り除く。清掃には路面清掃車を用いると効率がよい。

4. タックコート

タックコートの散布量は既設路面の粗さなどによって異なるが、一般的には、 $0.3 \sim 0.6 \text{ ㍓/m}^2$ 程度とし、ディストリビュータで均一に散布する。

施工面積が小さい場合やディストリビュータで施工が困難な場合はエンジンスプレーヤを用いて均等に散布する。

施工ジョイントの開きによる舗装表面からの雨水の浸透を抑制するために、既設舗装側面にもタックコートを塗布する。

5. 舗設

混合物は、アスファルトフィニッシャによる敷きならしを標準とする。打換え

面積が小さい場合には人力により敷きならしを行う。

アスファルト混合物層の転圧は、打換え面積が大きい場合には大型のマカダムローラ、タイヤローラなどを用いて、新設の場合と同様に転圧を行う。

基層の転圧では、仕上げ面が周囲の舗装面より低いために、縁部および隅角部の転圧が不十分になりやすいため、小型振動ローラなどを用いて縁部および隅角部の締固めを行う。打換えの面積が小さい場合の転圧はその面積の中で有効に使える小型の鉄輪ローラ(1 ～2t)か小型の振動締固め機などを用いる。

2 層以上の敷きならしを連続的に行う場合はタックコートを省略する場合もある。

6. 交通開放

転圧終了後の交通開放は 舗装表面の温度がおおむね 50℃以下となってから行う。夏期や夜間作業などで作業時間が制約されている場合は、舗装の冷却時間を考慮した舗設作業時間の検討や舗装冷却機械等による強制的な冷却などの検討を行うとよい。

2) 部分打換え工法（表層・基層・上層路盤打換え工法）

部分打換え工法は、構造破壊により送電電極の再設置が必要となり、上層路盤層の一部まで撤去したのちに再構築する工法である。

部分打換え工法の作業手順例および留意点を以下に示す。

1. 準備工（計画）

無線給電舗装では基層と上層路盤の層間に送電電極を設置している。

施工範囲は表基層の施工ジョイントが送電電極上とならないように設定する。

2. 切削（表層・基層：送電電極上面）

送電電極と送電ケーブルを切り離すために、連結箇所付近では送電電極上面の既設舗装が 2cm 以上残存するように路面切削機で切削する。連結箇所以外は送電電極上面まで切削する。送電電極の設置深さ、位置の確認には電磁波レーダ等の非破壊調査で行うことが望ましい。

3. 送電電極撤去

送電電極と送電ケーブルの連結箇所付近のアスファルト混合物は人力ではつり、切り離す。送電ケーブルに損傷がないことを確認するために、通電確認を行う必要がある。また、送電ケーブルは送電電極再設置の際に再利用するため損傷しないように注意する。

送電電極の撤去はバックホウ等を用いて行う。送電電極の撤去が困難な場合は

加熱によりアスファルト混合物と送電電極の付着力を低下させて撤去する方法もある。

4. 切削（上層路盤：送電電極下面）

送電電極の再設置時に基面は平滑にする必要がある。既設上層路盤の一部を路面切削機で切削する。切削深さはアスファルト混合物 1 層の施工厚さ（5cm 以上）とする。送電ケーブル設置箇所付近は人力施工とする。

5. 舗設（上層路盤）

上層路盤の舗設は切削オーバーレイ工法と同様に行う。

6. 送電電極の設置および舗設（表層・基層）

送電電極の設置および表層・基層の舗設は新設時と同様に行う。

3) 部分打換え工法（無線給電舗装打換え工法）

部分打換え工法（無線給電舗装打換え工法）は、構造破壊による下層路盤の損傷や送電ケーブルの断線により、無線給電舗装または施工基盤の一部まで撤去したのちに、無線給電舗装を再構築する工法である。

部分打換え工法（無線給電舗装打換え工法）の作業手順例および留意点を以下に示す。

1. 準備工（計画）

施工範囲は表・基層の施工ジョイントが送電電極上とならないように設定する。

部分打換え工法（無線給電舗装打換え工法）による修繕を実施する場合、多数の工種を実施する必要があるため、即日の交通開放が難しい。現場条件、各工法の施工能力、施工方法を事前に十分検討し、規制期間を決定しておく必要がある。

2. 切削（表層・基層：送電電極上面）

送電電極上面の既設舗装を路面切削機で切削する。送電ケーブルに損傷がなく再利用する場合は、送電ケーブル連結箇所付近の既設舗装は 2cm 以上残存するように切削する。

送電電極の設置深さ、位置の確認には電磁波レーダ等の非破壊調査で行うことが望ましい。

3. 送電電極撤去

送電電極と送電ケーブルを切り離す。送電電極の撤去はバックホウ等を用いて行う。送電電極の撤去が困難な場合は加熱によりアスファルト混合物と送電電極の付着力を低下させて撤去する方法もある。

送電ケーブルを再利用する場合は損傷がないことを確認するために、通電確認を行う必要がある。また、送電ケーブルは送電電極再設置の際に再利用するため損傷しないように注意する。

4. 切削（上層路盤：送電電極下面）

既設上層路盤を路面切削機で切削する。切削深さは切削廃材に下層路盤（雨水浸透材）が混入しないように下層路盤上面 2cm 程度までとする。

5. 下層路盤、グラウンドの撤去

下層路盤およびグラウンドをバックホー等で撤去する。グラウンドと施工基盤はコンクリート釘のみで固定している。施工基盤：アスファルト混合物（上層）が損傷しないように行う。グラウンドを撤去した際に、施工基盤：アスファルト混合物（上層）が破損した場合は、路面切削機で施工基盤：アスファルト混合物（下層）上面まで切削する。

6. 無線給電舗装の再構築

グラウンド、下層路盤（雨水浸透材）、上層路盤、送電電極の設置および表層・基層の舗設は新設時と同様に行う。

施工基盤：アスファルト混合物（上層）を切削した場合は、導水パイプ等の排水処理施設の再構築を行い、施工基盤内に滞水しないように配慮する。

4) 全層打換え工法

全層打換え工法は、施工基盤および路床の支持力低下により構造破壊した無線給電舗装を施工基盤まで撤去したのちに、無線給電舗装を再構築する工法である。

施工基盤まで撤去したのち、路床の支持力不足が確認された場合は路床改良を検討する。

全層打換え工法の作業手順例および留意点を以下に示す。

1. 準備工（計画）

施工範囲は表基層の施工ジョイントが送電電極上とならないように設定する必要がある。

全層打換え工法による修繕を実施する場合、多数の工種を実施する必要があるため、即日の交通開放が難しい。現場条件、各工法の施工能力、施工方法を事前に十分検討し、規制期間を決定しておく必要がある。

2. 撤去（表層からグラウンド）

既設の無線給電舗装（表層からグラウンド）の撤去方法は部分打換え工法（無線給電舗装打換え工法）と同様に行う。

3. 撤去（施工基盤）

施工基盤はバックホウ等で撤去する。撤去時に路床面を乱し、路床支持力を低下させないように留意する。

4. 無線給電舗装の再構築

施工基盤、グラウンド、下層路盤（雨水浸透材）、上層路盤、送電電極の設置および表層・基層の舗設は新設時と同様に行う。