

国土交通省総合技術開発プロジェクト 社会資本の予防保全的管理のための 点検・監視技術の開発

中間報告



鋼トラス部材の
埋め込み部の破断



埋設管破損による道路陥没



外壁タイルの剥落



河川堤防の漏水

国土技術政策総合研究所
平成24年2月

道路橋の損傷事例「鋼トラス橋のコンクリート埋設部材破断」



全景



破断箇所

一般国道23号 木曽川大橋（三重県）
橋梁形式：鋼トラス橋 架設竣工年：1963年

従来のコンクリートに埋め込まれた部材の腐食検査には、ハツリ検査等の破壊検査が必要で、検査コスト高く検査実施率・頻度が低かった。

新しい検査手法により検査コストを低減し、検査実施率・頻度を向上させ、損傷発生前に手当すること(予防保全)を推進させる。

埋設管破損による道路陥没の事例



従来の埋設管TVカメラ検査では、モニタ画面を人が判読するため調査速度が遅いこと等から検査コストが高く検査実施率・頻度が低かった。

新しい検査手法により検査コストを低減し、検査実施率・頻度を向上させ、損傷発生前に手当すること(予防保全)を推進させる。

建物外壁の落下の事例

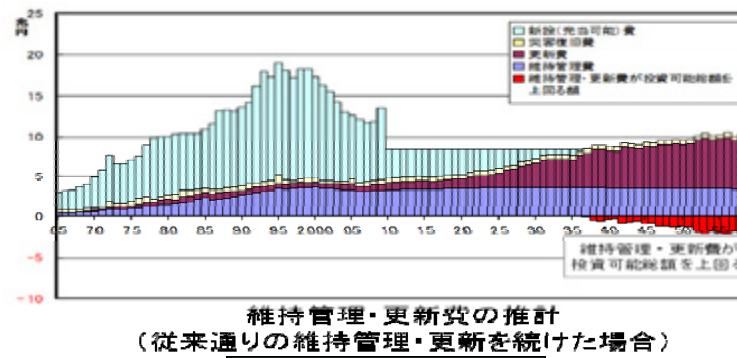


従来の外壁面部材の打診検査には、足場の設置が必要で、検査コスト高く検査実施率・頻度が低かった。

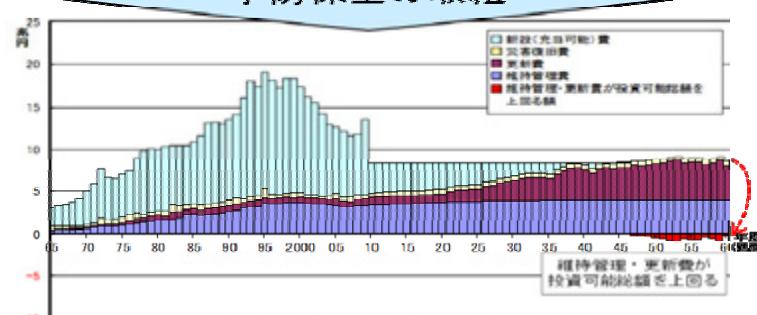
新しい検査手法により検査コストを低減し、検査実施率・頻度を向上させ、損傷発生前に手当すること(予防保全)を推進させる。

- ・高度経済成長期に集中投資した社会資本の高齢化の進行
- ・老朽化に伴う事故や災害、維持管理費・更新費の急増

→ ついたものを長持ちさせて大事に使う「ストック型社会」への転換



維持管理・更新費が投資総額に占める割合は2010年度時点で約50%であるが、2037年度時点で投資可能総額を上回る。2011年度から2060年度までの50年間に必要な更新費は約190兆円と推計され、そのうち更新できないストック量が約30兆円と試算される。

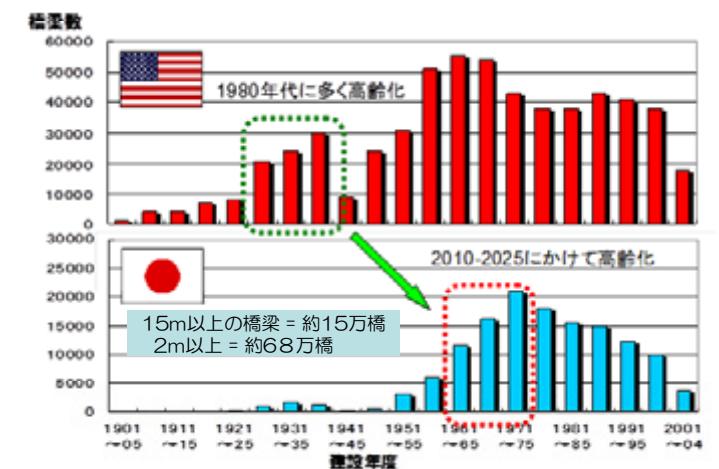


維持管理・更新費が投資可能総額を超えるのは10年伸びて2047年度となっており、更新できないストック量は2060年度までに約6兆円と大幅に減少する。早急に戦略的な維持管理を進め、ライフサイクルコストの縮減や長寿命化を図ることがわかる。

維持管理・更新費の推計（国土交通白書2010）



建設後50年以上経過する社会資本の割合

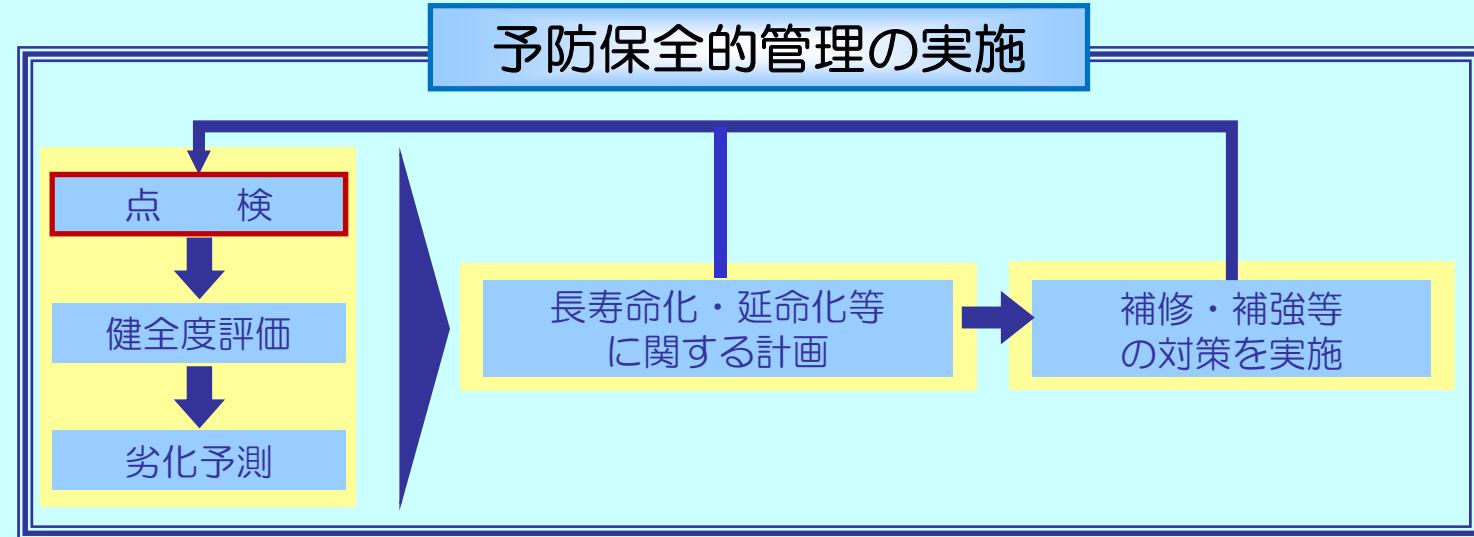


道路橋の高齢化

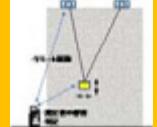
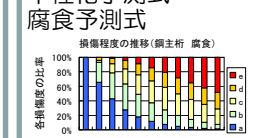
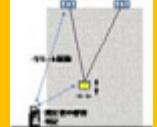
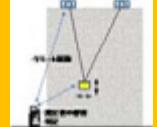
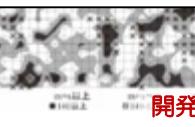
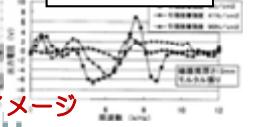
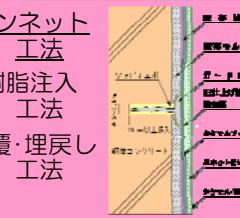
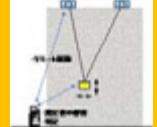
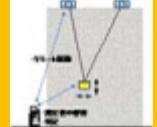
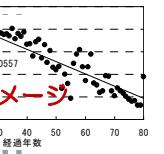
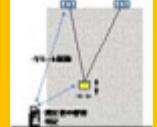
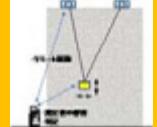
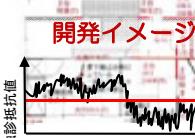
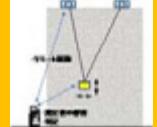
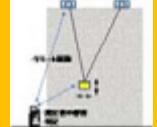
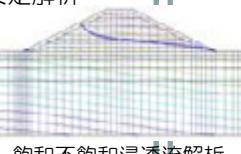
限られた予算と人員、膨大な資産とその高齢化に対し
これまでの「事後的管理」から予防保全的管理へ転換

→ 施設の長寿命化を図りライフサイクルコストを低減

基本的な考え方

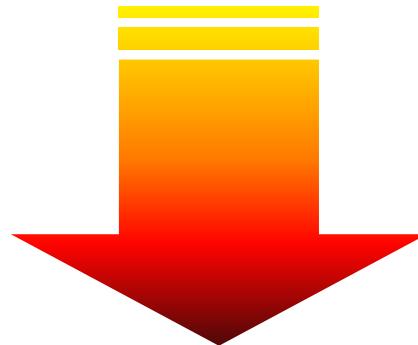


予防保全技術の開発概況

実用段階		開発途上（点検） 【今回の取り組み内容】		今後施設別に体系化		一部実用	
橋 梁	疲労、中性化、塩害 アル骨反応	近接目視 点検足場機械	I. 目視困難な部位の点検・診断技術 ①非破壊検査による点検診断技術 ②画像・データによる点検診断技術  		橋の性能の定量的評価	疲労曲線、塩分浸透・中性化予測式 腐食予測式	当て板、ひびわれ注入、炭素繊維接着、等 当て板
	 		超音波による点検のイメージ  点検箇所の例（埋込部の腐食） 		 柵端の板厚減少程度と耐荷力	 損傷程度の推移（鋼主析・腐食） 各部位割合 経過年 マルコフ遷移確率	
RC建築	タイル剥離 取付治具の腐食・劣化	打音検査 赤外線検査	 		タイル、設備等外装材の健全度評価と補修計画の策定	浮きや欠陥部の分布 接着強度の推定	ピンネット工法 樹脂注入工法 被覆・埋戻し工法
	 		 		 開発イメージ	 接着強度の推定	
下水管	腐食、不等沈下、荷重による破損	潜水目視 TVカメラ調査	 		経過年数、腐食等による健全率評価	経過年数、水質等による健全率予測	管更正工法等 非開削工法
	 		 		 無効化率 $y = -0.0108x + 1.0557$ 開発イメージ	 経過年数 無効化率 開発イメージ	
木造建築	蟻害（シロアリ） 腐朽（腐朽菌）	目視検査 触診検査	 		触診抵抗値のデジタル化・劣化判定のしきい値の特定	感覚評価（現状） 健全劣化	部材交換、土壤処理
	 		 		 開発イメージ 触診抵抗値 健全劣化	 健全劣化	
土構造物	浸透、漏水、法すべり 侵食、沈下	近接目視 ボーリング調査	 		安定解析	飽和不飽和浸透流解析	強化対策
	 		 		 安定解析 飽和不飽和浸透流解析	 強化対策	
				個別部位等の点検・診断	施設別の健全度評価	施設別の劣化予測	補修補強

これまでの点検・監視

目視可能な部位の目視による点検・監視が中心



「見えるところを見る」から
「診るべきところを診る」へ

これからの点検・監視

予防保全的管理のためには、これまでの点検・監視に加えて、目視困難な部位、評価困難な変状の点検・監視、診断を行うことも必要不可欠

I. 目視困難な部位等を点検・診断するための技術・評価基準

II. 目視困難な変状等を点検・監視・診断するための技術・評価基準

研究開発体制

施策推進・技術基準制定

国土交通省
大臣官房 技術調査課
水管理・国土保全局
道路局
住宅局

専門家会合（専門分野毎）

大学

専門機関
(独)産業技術総合研究所
(独)森林総合研究所
(独)土木研究所
(独)建築研究所

地方公共団体

業界団体

(社)日本非破壊検査協会
(社)日本非破壊検査工業会
(財)建築防災協会
(社)全国中小建築工事業団体連合会
(社)日本木造住宅産業協会 等

情報共有・連携

意見聴取

応用技術、評価技術の開発

（要求性能設定、性能評価、評価基準）

国土技術政策総合研究所

下水道研究室、河川研究室、道路構造物管理研究室
建築品質研究官、住宅ストック高度化研究室
建設マネジメント研究官、建設システム課、評価システム研究室

I. 構造物の目視困難な部位の点検・診断技術の開発

- ①非破壊検査による埋込部・遮蔽部の点検・診断技術の開発
- ②画像・データによる目視困難な部位の点検・診断技術の開発

II. 目視では評価が困難な変状の点検・監視技術

- ①赤外線を活用した漏水部の点検・診断技術の開発
- ②位置計測による構造物の監視・変状探知手法の開発

要素技術の開発

（非破壊検査技術、計測技術、動作制御技術）

委託研究 東京工業大学

委託研究 三重県建設資材研究センター

共同研究 (株)環境総合テクノス

共同研究 管清工業(株)・(株)カンツール

検査装置開発・製作

測定機器メーカー

研究開発計画

研究開発期間(H22~24年度)

研究開発期間以降(H25年度~)

**要素技術の開発
(委託研究)
(共同研究)**

**応用技術、評価技術の開発
(国総研)**

**施策の推進、普及
(本省等)**

非破壊検査技術等の要素技術
非破壊検査技術・計測技術・作動制御技術等の開発(大学等研究機関)

民間企業による検査装置(試作機)の開発・生産・改良

点検・監視に関する応用技術・評価技術

I. 構造物の目視困難な部位の点検・診断技術の開発(国総研)
II. 目視では評価が困難な変状の点検・監視技術の開発(国総研)

要求性能検討

性能確認試験

現地等実証試験

評価方法検討・評価基準作成

・技術開発の推進

・従来手法による点検・監視データの蓄積

・超音波探触子、センサー、画像処理装置等の基本装置

・民間企業による検査装置(市販製品)の開発・生産・改善

・管内カメラ、壁面検査装置等の土木・建築現場向けパッケージ装置

・法令等に基づく技術基準化・マニュアル化

・検査実施の主体となる行政機関・業界団体への周知・技術支援

・官民の人材育成

公共構造物・建築物での適用推進
その他各種構造物への利用拡大

点検・監視データの高度利用による維持管理のスマート化

民間企業による高効率・低成本なサービス体制の構築

【研究開発の目標】

目視困難な部位等の点検・監視技術を開発し、技術基準等に反映させることにより、致命的損傷を未然に防ぐ予防保全管理への転換を推進

I. 構造物の目視困難な部位の点検・診断技術の開発

①非破壊検査による埋込部・遮蔽部の点検・診断技術の開発

非破壊検査技術等を用いた、土木・建築構造物の鋼材等のコンクリートへの埋込部、外装材等の目視困難な部位の点検・診断技術及び評価基準を開発し、各種技術基準等へ反映させることにより予防保全的管理の推進を図る。

現状の例

目視困難な部位の損傷



コンクリート部材内部の局部的な腐食に対する対策の遅れにより、破断事故が発生。コンクリートを壊さないと内部がわからない。



人が入れない場所での腐食



外壁タイルの落下

従来手法



従来のハツリ検査



従来の打診検査

開発後

建築基準法、住宅性能表示制度、道路維持修繕要綱、橋梁定期点検要領、河川砂防技術基準、下水道維持管理指針 等における検査方法・管理方法として共通化・標準化



超音波による点検のイメージ

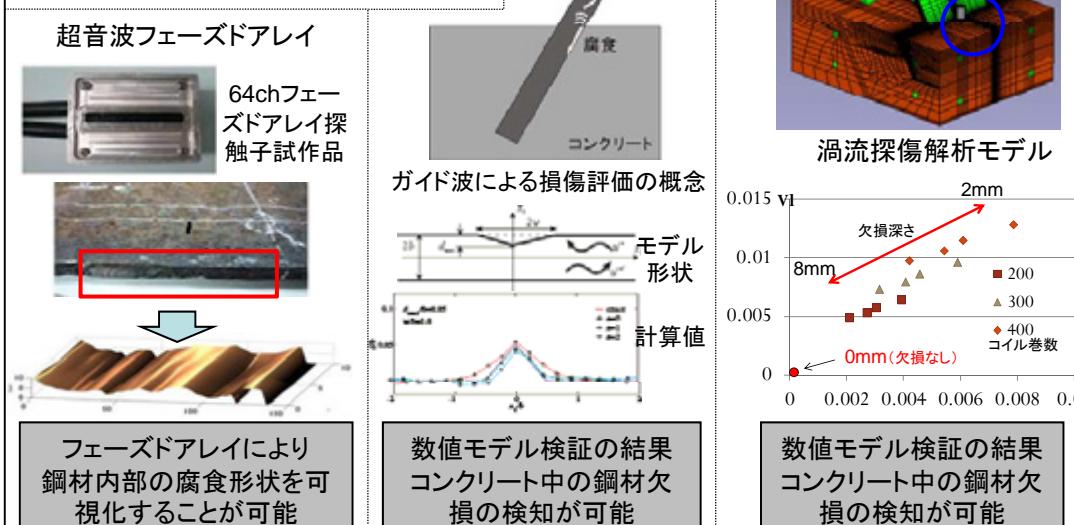
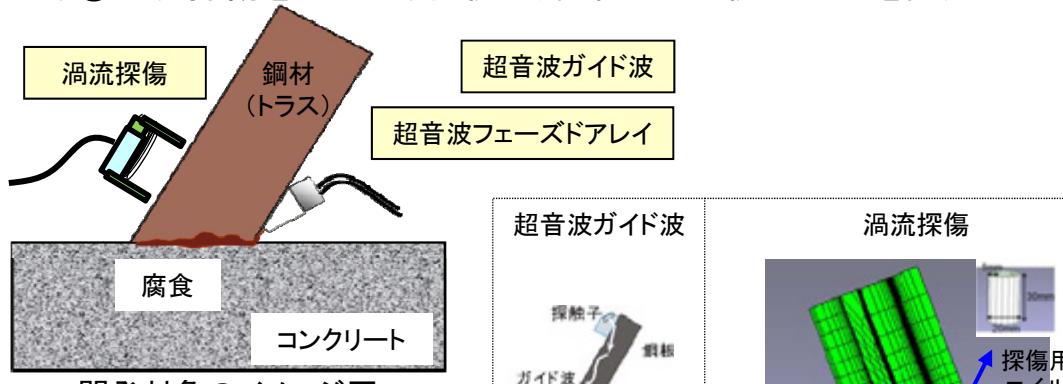
- ・従来は破壊検査・足場等を要し高コストで実施率が低かったが、非破壊検査が加わり、点検効率・実施率、安全性が向上する。

①非破壊検査による埋込部・遮蔽部の点検・診断技術の開発

取り組み状況

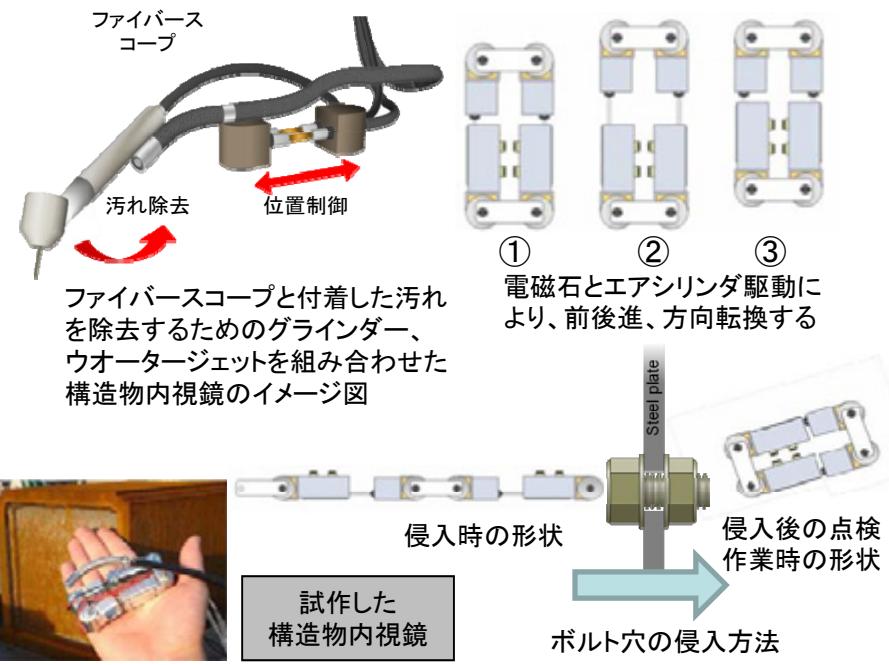
1、非破壊検査法によるコンクリート埋込部の鋼材腐食の診断手法

産業分野で利用されている技術を、社会基盤施設の点検・診断技術に応用することを目指し、①超音波フェーズドアレイ、②超音波ガイド波、③渦流探傷を用いた、目視困難部位の可視化手法を開発



2、箱桁内部等の狭隘部の診断手法

人が侵入困難な橋梁部材内部等の狭隘部の目視点検を実現するため、大型構造物で最も一般的なボルト径寸法の孔(Φ22mm)から進入できる構造物内視鏡を開発



今後の取り組み

- ・プロトタイプ装置、模擬部材による性能評価試験
- ・プロトタイプ装置の改良による性能向上
- ・評価方法検討、評価基準作成

①非破壊検査による埋込部・遮蔽部の点検・診断技術の開発

取り組み状況

3. 外壁の遠隔診断手法

①壁面走行型外壁診断装置の開発

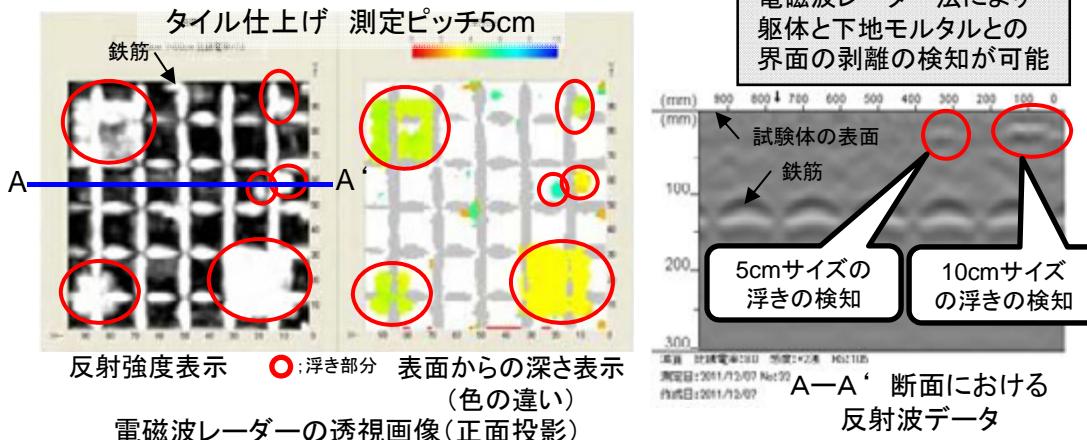
- ・目地や凹凸のあるタイル張りの外壁を自動走行できる機能を持った装置を試作、模擬試験体による機能・性能の確認実験



壁面走行装置の試作機
(壁面に吸着しながら、移動)

②外装材の浮きの定量的な評価手法の開発

- ・各種非破壊診断法(打音法、赤外線法、衝撃弾性波、電磁波レーダー等)による診断精度の評価(実証実験)



外装材の浮き調査への各種非破壊診断法の適用可能性の検討
(従来、鉄筋探査に用いられている電磁波レーダー鉄筋探査装置による実験検証例)

③「外壁調査」の実施率向上に向けた現状調査
(課題の明確化)

- ・建物所有者や管理者→外壁調査費用の負担軽減、安全性に対する意識向上が必要
- ・診断業者等→診断結果の信頼性の確保、過去に1回以上の外壁補修・改修が行われたものの調査・診断手法の整備が必要
- ・特定行政庁→建物の安全性に関する行政指導方法等の整備が必要

今後の取り組み

- ・プロトタイプ装置、模擬部材による性能評価実験
- ・プロトタイプ装置の改良による性能向上
- ・評価方法検討、評価基準作成
- ・建築基準法12条に基づく定期調査実施率向上のための行政指導指針等の作成

②画像・データによる目視困難な部位の点検・診断技術の開発

画像・データ技術等を用いた、人が直接近寄れない管路内部、建築物床下等の目視困難な部位の点検・診断技術及び評価基準を開発し、各種技術基準等へ反映させることにより予防保全的管理の推進を図る。

現状の例

目視困難な部位の損傷



下水道管の破損

床下の腐食
(解体後の撮影写真)

目視・打診等試験者の技能（経験則）による評価に頼っている。
技能により差が発生し、また有能な技能者も少ない。
点検に時間、コストがかかることで、点検実施率は低くなる傾向。

従来手法



従来のカメラ画像

開発後

住宅性能表示制度、道路維持修繕要綱、河川砂防技術基準、下水道維持管理指針 等における検査方法・管理方法として共通化・標準化



画像データ・記録のイメージ

- ・画像・データを取得する点検装置の機能向上、性能の標準化により、点検効率・実施率、安全性が向上する。

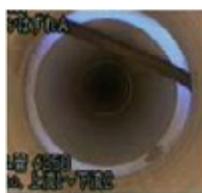
取り組み状況

1、TVカメラ調査のスクリーニング手法

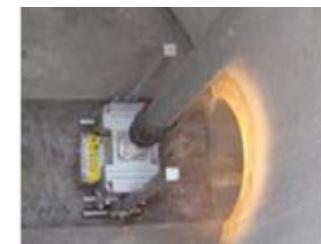
- 点検効率・実施率向上のための簡易カメラを用いたスクリーニング手法の開発
- 管路の経年劣化や道路陥没を引き起こした不具合の情報を収集し、対象とする不具合を抽出
- 上記不具合を有する模擬劣化管路を用いて、簡易カメラ及び既存の詳細調査手法についての性能評価試験を実施中



調査結果から抽出した不具合を実証試験用に再現した模擬劣化管路



継手のズレ
模擬劣化管路で再現した不具合の例



簡易カメラ(従来製品)の実験状況(マンホール内)

マンホールからの距離	管壁の異常(破損等)	管内の突起(木根等)
0m～5m	○	○
5m～10m	△	○
10m～15m	×	○
15m～	×	×

簡易カメラの可視範囲
(予備実験結果)

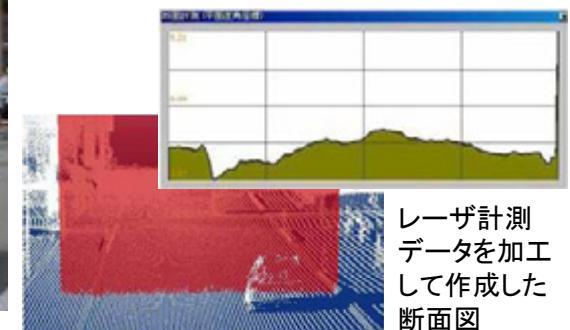
- 簡易カメラ(従来製品)ではマンホールから10m程度まで調査可能
- 調査方法、判定基準、精度を整理

2、道路陥没予兆の発見手法

- 車載型レーザー装置から路面高さを測定し、埋設管路損傷による道路陥没の予兆を発見する手法の開発
- 道路陥没の多発地区をフィールドとした性能評価実験を実施中。陥没発生箇所と経時的な測定データを比較し、パターン解析を実施予定



実験中の車載レーザ装置
(CCDカメラ、GPS、レーザースキャナ他を搭載)



今後の取り組み

- プロトタイプ装置、模擬部材、現地フィールドでの性能評価試験
- プロトタイプ装置の改良、改良機種による性能向上
- 評価方法検討、評価基準作成

取り組み状況

3. 床下木質部材の劣化診断手法

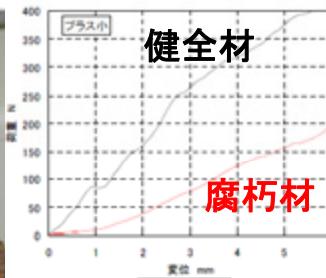
- ① 走行装置、含水率測定方法の基本実験
- ② 各地の木造建築物の床下寸法等の分布調査
- ③ 生物劣化の触診検査方法の検討→技能者～機器へ代替可能
- ④ 模擬部材による性能評価の実施→腐朽材のめり込み特性把握
- ⑤ 木造建築物の床下劣化診断装置の設計、試作→実施中



①走行条件(砂地)の評価

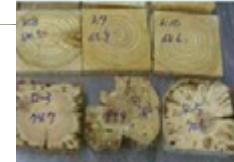
①走行装置の障害物
(配管)の対応性の評価

積載重量によって、障害物対
応性能が異なる→◎軽量化

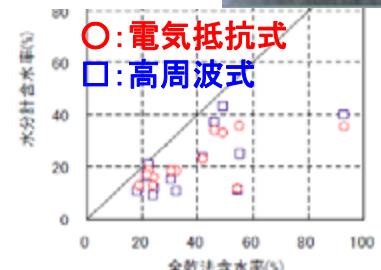


健全材と腐朽材の触
診時荷重には、明確な
差があり、有効である
ことが検証された。

①腐朽材と健
全材の含水
率測定精度
の比較・検証



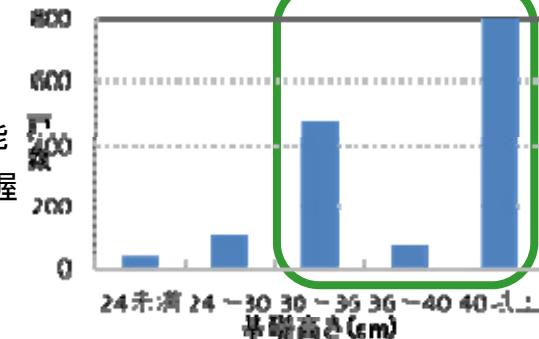
○:電気抵抗式
□:高周波式



腐朽の程度が著しいと、含
水率測定の精度は低下する

③触診検査
方法の検討

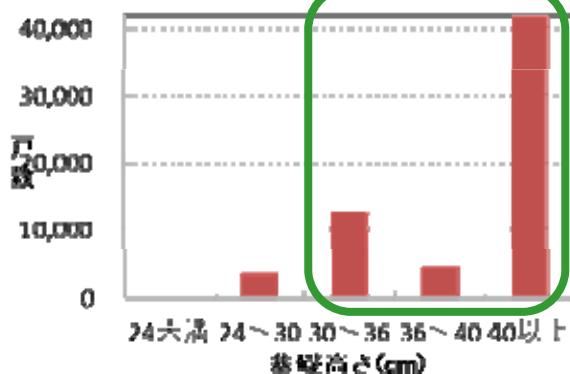
②公営住宅(n=1,483)の基礎高さ分布



30cm
以上が
90%

開発する
装置は
30cm未満

②公庫融資住宅(n=62,458)の基礎高さ分布



30cm
以上が
94%

今後の取り組み

- ・プロトタイプ装置、模擬部材による性能評価試験
- ・プロトタイプ装置の改良による性能向上
- ・評価方法検討、評価基準作成

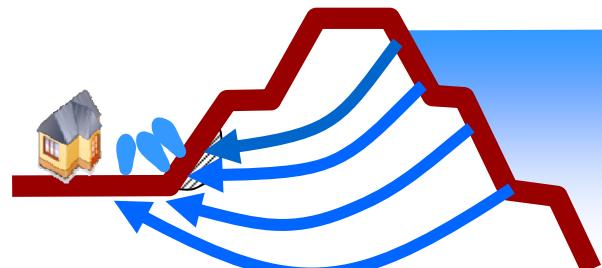
II. 目視では評価が困難な変状の点検・監視技術の開発

①赤外線を活用した漏水部の点検・診断技術の開発

赤外線サーモセンサーを活用し、現状では検知が困難である堤防湿潤部の範囲を定量的に把握する点検・診断技術及び評価基準を開発し、各種技術基準等へ反映させることにより予防保全的管理の推進を図る。

現状の例

目視のみでは迅速な評価が困難な変状



堤防の漏水



川裏での法すべり

- 漏水危険箇所の点検を、漏水の生じやすい条件である降雨後の数日間に堤防総延長に渡って実施するため、点検の技量の違いにより発見が困難な場合がある

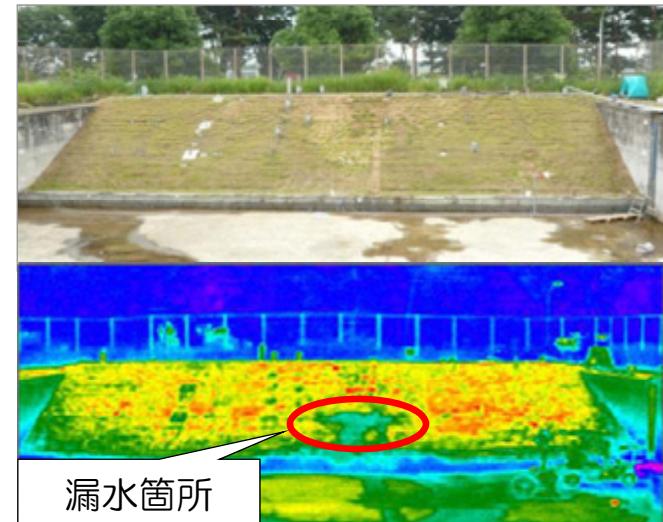
従来手法

河川巡視による目視点検



開発後

道路維持修繕要綱、
河川砂防技術基準等
における検査方法・管
理方法として共通化・
標準化



赤外線を活用した漏水箇所の同定イメージ（実験施設での例）

- 従来からの人手、目視による変状監視に加え、赤外線サーモセンサーによる検知を行い、迅速・簡便に変状を検知する。

①赤外線を活用した漏水部の点検・診断技術の開発

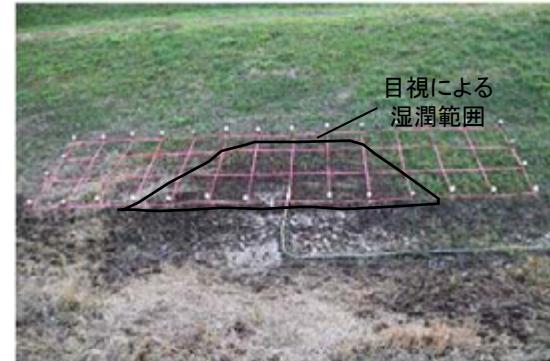
取り組み状況

1. 河川堤防のり面における性能確認実験

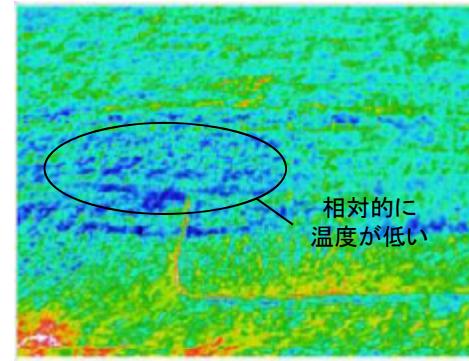
- 河川堤防のり面の表層温度と表面水分量の関係を実測
- 実測表層温度と赤外線サーモセンサーの熱画像温度の関係を整理
- 影響を与える要因の抽出(検知可能な植生・土質条件、気象条件、撮影手法)



観測箇所写真

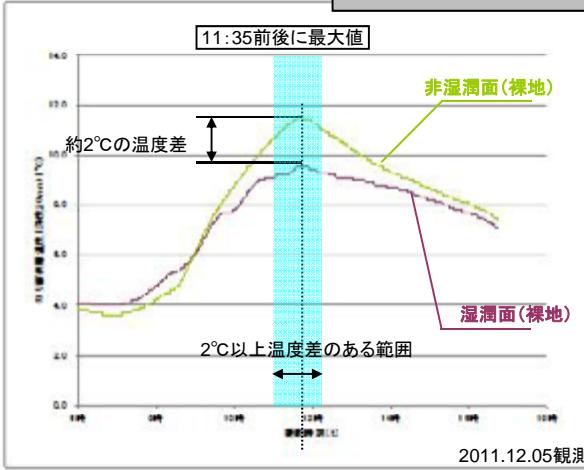


実測のり面の可視画像

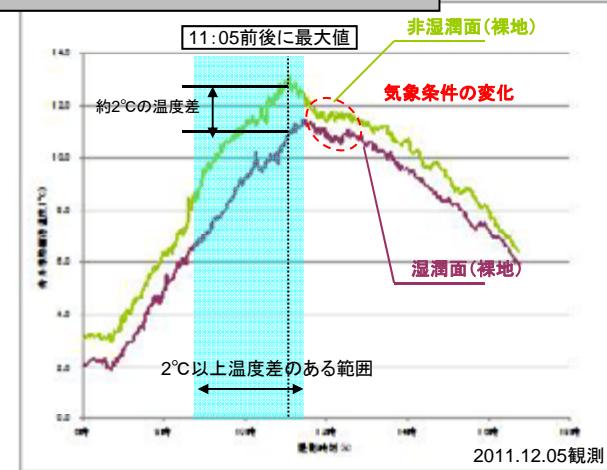


実測のり面の赤外線熱画像(11:05撮影)

検証結果
・湿潤面と非湿潤面を温度差で検知可能
・実測温度と熱画像温度の応答に時間差がある



のり面表層(地表下2cm)実測温度
湿潤面と非湿潤面の温度グラフ



赤外線サーモセンサによる熱画像温度
湿潤面と非湿潤面の温度グラフ

- 温度差がある時間(撮影に適した時間帯)
- 温度の最大値、温度勾配(湿潤状況の違いによる温度変化)
- 温度応答の敏感さ(気象条件の変化)
- 実測温度と赤外線熱画像温度の違い
→撮影手法、気象条件などについて今後検証

今後の取り組み

- 植生、天候、撮影時間の影響等の検証
- 現場への適用性、効率的、効果的な適用手法の検討
- 評価方法検討、評価基準作成

II. 目視では評価が困難な変状の点検・監視技術の開発

②位置計測による構造物の監視・変状探知手法の開発

GPS、レーザ測距等位置の特定技術を活用し、橋梁等構造物の日常の変状を迅速・簡便に把握する監視技術及び評価基準を開発し、各種技術基準等へ反映させることにより予防保全的管理の推進を図る。

現状の例

迅速な把握が必要な致命的変状



橋台の移動



橋台背面の段差



下部工の沈下・傾斜



線形（曲線）の変化
(測量して異常が判明)

・構造物の致命的な変状は、パトロールや通行者からの通報等により把握しており、迅速に把握できていない。

従来手法



目視点検



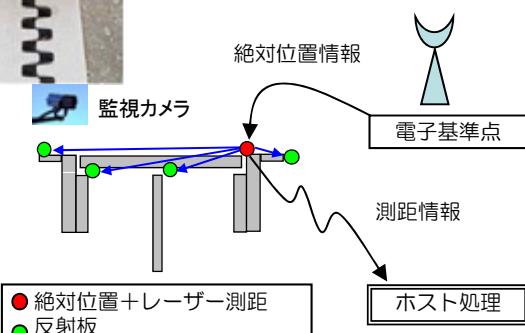
道路パトロールによる通常点検

開発後



例：橋台取付部の異常を
位置の変化として検知

道路維持修繕要綱、
橋梁定期点検要領、
河川砂防技術基準、
下水道維持管理指針 等
における検査方法・管理
方法として共通化・標準化



・従来からの人手、目視による変状監視に加え、GPS等位置計測による変状監視により、迅速・簡便に異常を検知する。

II. 目視では評価が困難な変状の点検・監視技術の開発

②位置計測による構造物の監視・変状探知手法の開発

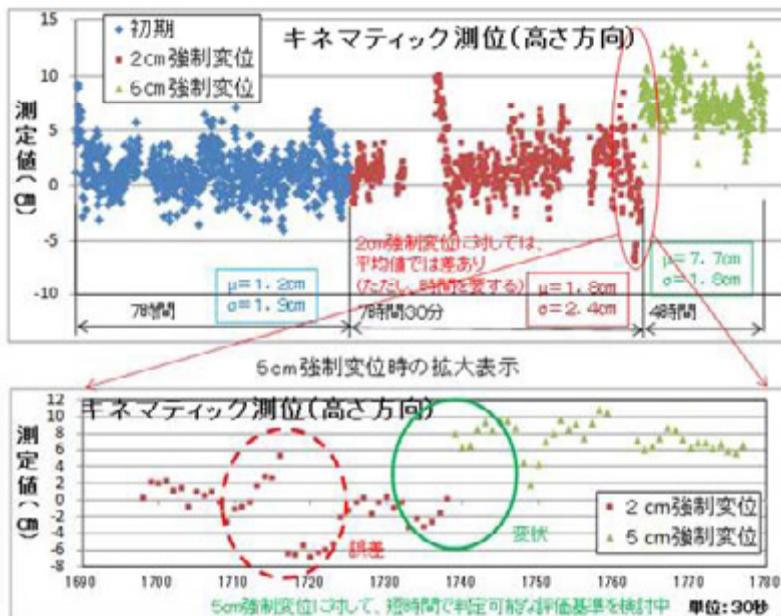
取り組み状況

- 検知レベル2段階の仮設定
 - 致命的損傷の発生: 1m程度
 - 通行規制の検討: 5cm

1. GPSを用いた監視手法

- 実験条件 1) 検位方式: キネマティック測位
(干渉測位方式: コスト・精度が中程度)
2) データ取得: 1秒間隔。30秒平均
- 実験方法 ・GPSアンテナを物理的に移動させ、
強制変位量を検知可能か検証

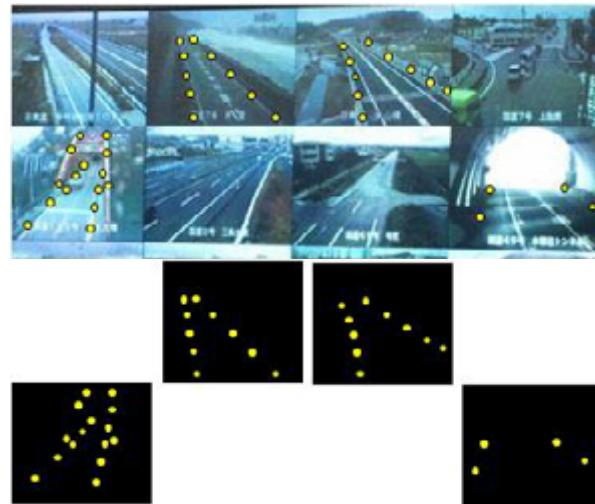
検証試験の結果



検証結果

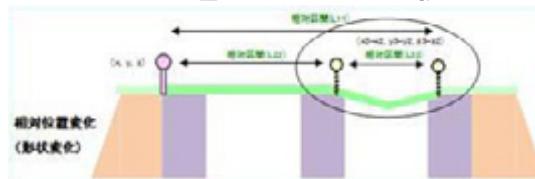
- 変位量2cmレベルの検知は困難
- 変位量5cmレベルの検知は可能性が高い
→ 計測時間が短かくても検知するための判定方法を検討中

2. 監視カメラを用いた監視手法



- 評価すべき項目 ← 実証実験中(既存技術の限界と高度化の可能性が明確になりつつある)
 - ・画角、カメラの姿勢制御
 - ・対象距離と機器配置
 - ・解像度(画素数)と対象現象の関係
 - …ITV(約30万)、ハイビジョン(約200万)、デジカメ(約1千万)
 - ・精度(誤差処理)…アレイ処理、統計処理、サンプリングタイム、平均化時間長さ等)
 - ・ノイズ処理(振動、車両ライト、遮蔽)

3. レーザ測距を用いた監視手法



- 配置計画 ← 近年の被災事例から実用可能性を確認
(精度の限界や効果的配置策を検討中)
- 精度 ・レーザー距離計…mmオーダーも可能性を確認
・今後、低コスト化、信頼性向上策を検討

今後の取り組み

- 既存機器を活用した監視手法の検討
- 橋梁群の常時監視システムの試作(机上)
- 評価基準作成
- 監視システムを活用した新たなリスク管理体制の提案

【目標達成の見通し】

技術研究開発を行う全4課題について、要求性能検討、シミュレーションまたはプロトタイプによる性能確認試験・検証等を実施し概ね順調に進めており、本研究開発の目標であるプロトタイプを用いた評価方法検討、評価基準作成は達成できる見通しである。

【報告時点までの成果】

①非破壊検査による埋込部・遮蔽部の点検・診断技術

非破壊検査法によるコンクリート埋込部の鋼材腐食の診断手法、構造物内視鏡による狭隘部の診断手法、外壁の遠隔診断手法についてプロトタイプを作成し、性能確認実験を実施

②画像・データによる目視困難な部位の点検・診断技術

TVカメラ調査のスクリーニング手法、道路陥没予兆の発見手法、床下木質部材の劣化診断手法について、プロトタイプや劣化部材、実測データ等を用いた性能確認実験を実施

③赤外線を活用した漏水部の点検・診断技術

実際の河川堤防において赤外線サーモセンサーを用いた性能確認実験を実施

④位置計測による構造物の監視・変状探知手法

GPS、監視カメラ、レーザ測距を用いた監視手法について実データ等により検証

【研究開発の実施方法・体制の妥当性】

先端的な要素技術は大学等研究機関と、計測装置等の開発・製作は民間企業と連携して、国総研を中心となって応用技術、評価技術の開発にあたるとともに、実用的な技術、手法とするため、学識経験者、専門研究機関、本省、地方公共団体、業界団体等の関係機関が参画する専門家会合を設置して取り組んでおり、妥当なものと考える。

【上記を踏まえた研究計画の妥当性】

技術開発とともに、社会での実現にむけて法令等に基づく技術基準化、開発した検査装置の汎用化、施策の促進普及を視野に入れた研究計画となっており、妥当なものと考える。