

米国における情報化施工の 取り組み状況について

1. 米国FHWA※における情報化施工の取り組み状況について (p.3～p11)

参照元:

- ・ FHWA「IC ※推進戦略最終報告」
Accelerated Implementation Intelligent Compaction Technology for Embankment Subgrade Soils, Aggregate Base, and Asphalt Pavement Materials Final Report
- ・ FHWA「アスファルト工のためのIC工事発注仕様書(サンプル)」
FHWA, Generic IC Specifications for HMA, Intelligent Compaction Technology for HMA Applications, June 2011
- ・ FHWA「土工のためのIC工事発注仕様書(サンプル)」
FHWA, Generic IC Specifications for Soils, Intelligent Compaction Technology for Soils Applications, June 2011
- ・ FHWA「砕石路盤のためのIC工事発注仕様書(サンプル)」
FHWA, Generic IC Specifications for Aggregate Bases, Intelligent Compaction Technology for Aggregate Base Applications, June 2011
- ・ FHWA www.Intelligentcompaction.com

※FHWA(Federal Highway Administration):連邦道路庁

※IC(Intelligent Compaction):Intelligent Compactionとは、締固め作業中に、計測された地盤反力に応じて締固めの加振力を制御し、それらを計測できる振動ローラを用いて、強度、締固め回数を高精度な位置計測結果とともに連続的に計測し、帳票として出力するものである。これにより、舗装の締固め管理において、従来の点的な管理から面的な管理・検査へと移行し、品質の均一性向上と検査の省力化を目指している。

1.1 ICプロジェクト(米国FHWA)の背景と目的

【背景】早期の欠陥発生、性能低下への対策が必要

- 土工(盛土)、路盤工、アスファルト舗装工において、施工品質の劣化による早期の欠陥発生や性能の低下がみられる。



【課題】現状の施工の品質管理と検査手法の改善

- 従来の点的な品質管理※1から施工範囲全面の品質管理・検査法への移行を検討。
- 密度等の表層の品質管理から舗装全層の構造的強度管理への移行を検討。

【目的】IC(Intelligent Compaction)を用いた施工・施工管理により、土工・路盤工・舗装工の施工品質のさらなる向上と、舗装の長寿命化を実現する。

- 方策①:面的なQC・QA※2(品質管理・検査)手法の確立(点管理から面管理への移行)。
 方策②:信頼性・生産性の高い建設施工の実現を支援するIC施工仕様書を作成し、各州での普及を図る。

※1 従来の土工・舗装の品質管理手法
 =コア、RI計(右図)または
 電磁波密度計(右図)による密度計測

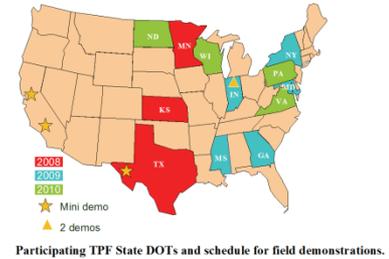


※2 QC(Quality control):品質管理(施工者)と
 QA(Quality Assurance):品質検査(発注者)

1.2 ICプロジェクトの検討スケジュールと成果概要

ICプロジェクトの実施主体

主催: FHWA, 参加の各州DOT※1, 第1次プロジェクト: 任意5州(ミネソタ他)、第2次プロジェクト: 任意12州('08-11右図参照)



ICプロジェクトの検討スケジュール(概要)

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
第1次ICプロジェクト(土工における試験施工と品質管理手法の検討)	2005~2008							
第2次ICプロジェクト(砕石路盤・堤体路床土・アスファルト舗装材料へのICの適用促進)					2008~2010			
戦略の立案・成果発表・広報活動(実験は継続中)				「戦略的IC計画書」の発表		ワークショップ(成果公表、3回)		
							「最終報告書(FHWA)」の発表	
							IC仕様書(FHWA)の公開	

ICプロジェクトの成果(概要)

- 土工、粒状路盤工、アスファルト舗装工に関する3種類のIC **工事発注仕様書 (FHWA版サンプル) を提供**し、各州DOTが独自の仕様書に改定して利用できるようにした。
- 土工、粒状路盤工では従来の点的な密度管理に代わり、RTK-GPSによる **ICMV※2 と転圧回数**の全数検査による**全面品質管理・検査方法**、またアスファルト舗装工でもさらに舗装**表面温度**を追加した**同法の確立**。

※1 DOT (Department of Transportation) = 米各州の運輸局

※2 ICMV (IC measurement value) = 振動ローラの加速度計測値から算出される地盤剛性値および相関値。従来はRMVといわれていた。各社で異なる指標値 (CCV, CMV, EVIB, HMV, MDP, Kb) の総称がICMVと呼ばれている。

1.3 IC仕様書(FHWA版)(土工用の概要例)

FHWA IC仕様書の内容(1/2)

項目		主な記載事項
1.使用機器 (Equipment)	ICローラに関する規程	<ul style="list-style-type: none"> ・ICローラの定義(自走式シングルドラムの振動ローラに加速度計と車載モニタを搭載) ・ICローラが備えるべき機能(ローラ加速度応答法による地盤剛性との相対値(ICMV)、転圧回数を、GPS(GNSS)測位によるローラ位置と整合して表示・記録できること)
	GPS(GNSS)に関する規程	<ul style="list-style-type: none"> ・機器構成(RTK、基地局、ローバ、移動局(ICローラ)) ・測位精度に関する規程(x,y方向の測位の誤差が40mm以内) ・測位座標系の指定(UTM:ユニバーサル・トランスバース・メルカトル座標系)
	使用機器の承諾に関する規程	<ul style="list-style-type: none"> ・使用機器の機能・精度確認試験を実施 ・結果を提出し、使用機器について発注者の承諾を受ける
2.ICデータの要求仕様 (IC Data Requirements)	アウトプットデータに関する規程	<ul style="list-style-type: none"> ・必要となる出力データ項目(ローラメカ、機種第14種類、および位置情報等15種類) ・出力データの形式の指定(アスキー形式またはテキスト形式)
	データマネジメントソフトに関する規程	<ul style="list-style-type: none"> ・使用ソフトウェアの指定(解析ソフトウェア(Veda α v.8.0またはそれ以降のバージョン)) ・ソフトウェアの入手方法(www.intelligentcompaction.com または各州DOT、無料)
3.品質管理計画 (Quality Control Plan)	一般的規程	<ul style="list-style-type: none"> ・品質管理計画に記載すべき内容(使用機器、材料輸送手段、品質管理体制 等) ・品質管理計画の提出期限(施工着手の15日以上前迄に提出し承諾を受ける) ・品質管理計画の承諾に関する規程 (品質管理計画が発注者に承諾されてから施工に着手)
	品質管理員等の承諾に関する規程	<ul style="list-style-type: none"> ・品質管理員の資格要件(研修の修了、必要経験年数、現場での権限 等) <ul style="list-style-type: none"> a)品質管理フィールドマネージャー の要件 b)品質管理員 の要件 c)ICローラオペレータ の要件 ・品質管理員の届け出 ・品質管理員の責任
	エンジニア(発注者側現場技術員)の権限	<ul style="list-style-type: none"> ・未承諾の装置や品質管理員の入れ換えを要求する権限 ・品質管理計画に沿った管理が行われるまで建設施工を停止する権限

1.3 IC仕様書(FHWA版)(土工用の概要例)

FHWA IC仕様書の内容(2/2)

項目	主な記載事項						
4.試験施工と管理値の設定(Test Sections and Target Values)	<ul style="list-style-type: none"> ・試験施工規模(600m²(75m×8m)) ・試験施工時の設定条件(ローラの走行速度、周波数、起振力等) ・試験施工での計測項目(ICMV、密度、LWD等)と計測箇所の配置 ・規程転圧回数の決定方法 ・ICMVの規格値の決定方法 						
5.本施工エリアでの品質管理(QC/QA for Production Areas)	<ul style="list-style-type: none"> ・ICにより品質管理を行う施工規模(最低2,250m²) <table border="1" data-bbox="340 596 1877 992"> <tr> <td data-bbox="340 596 643 686">材料管理方法</td> <td data-bbox="643 596 1877 686"> <ul style="list-style-type: none"> ・材料の均一さを担保する方法(土質毎に施工エリアを区切る方法等) ・材料の含水比などの変化に対応した調整方法 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="340 686 643 825">施工管理基準</td> <td data-bbox="643 686 1877 825"> <ul style="list-style-type: none"> ・施工エリアの70%で規定のICMVを満足すること。 ・基準を満足しない場合は、修正施工を実施しICMVを再評価する。 ・ICによる施工管理を実施しても、DOTによる承諾プロセスは従来の基準どおり実施 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="340 825 643 992">DOTによる承諾プロセス</td> <td data-bbox="643 825 1877 992"> <ul style="list-style-type: none"> 含水比試験(最適含水比の-3~2%の範囲内になること) 地盤支持力試験(土質毎に定められたDOTの規格値を満足すること) 土質毎の最大乾燥密度と最適含水比 ICMVが規格値を満足しない場合の修正工事判定 </td> </tr> </table>	材料管理方法	<ul style="list-style-type: none"> ・材料の均一さを担保する方法(土質毎に施工エリアを区切る方法等) ・材料の含水比などの変化に対応した調整方法 	施工管理基準	<ul style="list-style-type: none"> ・施工エリアの70%で規定のICMVを満足すること。 ・基準を満足しない場合は、修正施工を実施しICMVを再評価する。 ・ICによる施工管理を実施しても、DOTによる承諾プロセスは従来の基準どおり実施 	DOTによる承諾プロセス	<ul style="list-style-type: none"> 含水比試験(最適含水比の-3~2%の範囲内になること) 地盤支持力試験(土質毎に定められたDOTの規格値を満足すること) 土質毎の最大乾燥密度と最適含水比 ICMVが規格値を満足しない場合の修正工事判定
材料管理方法	<ul style="list-style-type: none"> ・材料の均一さを担保する方法(土質毎に施工エリアを区切る方法等) ・材料の含水比などの変化に対応した調整方法 						
施工管理基準	<ul style="list-style-type: none"> ・施工エリアの70%で規定のICMVを満足すること。 ・基準を満足しない場合は、修正施工を実施しICMVを再評価する。 ・ICによる施工管理を実施しても、DOTによる承諾プロセスは従来の基準どおり実施 						
DOTによる承諾プロセス	<ul style="list-style-type: none"> 含水比試験(最適含水比の-3~2%の範囲内になること) 地盤支持力試験(土質毎に定められたDOTの規格値を満足すること) 土質毎の最大乾燥密度と最適含水比 ICMVが規格値を満足しない場合の修正工事判定 						
6.データの提出方法(IC Data Submittal)	<ul style="list-style-type: none"> 施工結果の記録(下記の内容を記録すること) ・品質管理試験;含水比、最大乾燥密度、最適含水比(品質管理担当者による確認・署名の上、試験後24時間以内に提出) ・機材:使用されたローラとその作業日報 ・ICローラデータ提出:最低2回/日、日時記録付きであれば後日の評価を許容 						
7.支払いに関する規程(Payment and Measurements)	<ul style="list-style-type: none"> ・ICの費用の一時金による支払い。これにはICローラ、燃料、オペ、GPS、その他必要機器類、ローラとGPSメーカーの支援派遣者等を含む。 						

1.3 IC仕様書(FHWA版)

アウトプットデータに関する規程

- ICの出力データ項目は、回数,ICMV,温度(アスファルトのみ)に統一したが、データフォーマットは標準化しない。
- メーカー毎に異なるICMV(下図)で測定して良い。但し、試験施工においてICMVと品質管理値(密度、FWD、LWD等)との相関関係を求め、ICMVの管理指標値を定める。



データマネジメントソフトの使用

- メーカー毎に形式の異なる出力データを全て読み込み、各種分析(統計ヒストグラム、密度や剛性値等の点管理とICMVとの相関関係)可能なデータマネジメントソフト(Veda)を発注者側で開発し、無料配布。

Export geospatial data from various IC machines and vendor-specific software

Import to Veda

試験施工結果の分析

本施工結果の表示・分析

アウトプットデータの読み込み・帳票化

1.3 IC仕様書(FHWA版)

品質管理員等の承諾に関する規程

- 品質管理に関わる人員に対して必要要件が設けられている。
- 品質管理に関わる人員を発注者に対して事前に届け出て、承諾を受ける必要がある。

- 施工前ミーティング(仕様書・ICの理解)
- 事前トレーニングの実施
- 必要経験年数(各州で定める)
- 必要な現場での権限の付与

品質管理員等の承諾

a) 品質管理フィールドマネージャー

建設業務における一定の経験年数を有する品質管理活動に従事する請負者の正規社員、または独立したコンサルタント

b) 品質管理員

c) ICローラのオペレータ

使用機器の承諾に関する規程

- ICローラが必要な機能を有していることの確認や、GPS(GNSS)の測位精度確認を実施し、使用機器が適切であることを発注者から承諾される必要がある。また、日々の精度確認も実施する必要がある。

ア) 計測機器等の承諾

施工前に、発注者の承諾を受ける必要がある。

- GPS(GNSS)の精度確認(実地試験による)ローバと移動局のGPSアンテナを上下に重ねて測位したx、yの差が40mm以内
- ICシステムの機能確認(実地試験による)規程の幅、長さ、パス回数を転圧パス回数、ICMVが正しいことを確認

- メーカーによるサポート体制の確認(開始時は7日以上)

使用機器(ICシステム)の承諾



INTELLIGENT COMPACTION METHOD
COMPACTOR CERTIFICATION FORM
Grading & Base Materials 5892XXXX PROJECT NO.:

CONTRACTOR INFORMATION						COMPACTOR IDENTIFICATION			
Manufacturer Name						Machine Model			
Equipment Model Number						Machine Type			
Contractor Project Control File No.						Crum Weight			
Manufacturer's Name (if different from above)						Roller Diameter			
Manufacturer's Range (e.g. 120)						Machine Weight			
ON-BOARD DISPLAY						INFORMATION ON SYSTEM			
Display Unit Supplier (Yes/No)						Operating Time (Start/End/Status)			
Display Unit Operator (Yes/No)						Operating Log (If available) (Case 2)			
Manufacturer's Name (if different from above)						Measurements continuously recorded on			
Manufacturer's Range (e.g. 120)						Data 2 (Case 1) (Yes/No)			
Manufacturer's Name (if different from above)						Sensor(s) to be recording sensor's name(s)			
Vibration Frequency						(If a reflect sensor range (Yes/No)			
Pass Vertical Amplitude						Sensor appears to be reporting/reading correctly (Yes/No)			
Operator for Double Jump									
Other									
VEHICLE POSITION GPS ACCURACY									
Position	Compactor		Independent Device (e.g., Rover)		Accuracy				
	X-Coordinate (A)	Y-Coordinate (B)	X-Coordinate (C)	Y-Coordinate (D)	x/Y (E)-(F)	x/Y (G)-(H)	RMSE (I)		
1									
2									
3									
4									
5									
6									
If One Position has GPS accuracy error of sum less than 40mm, the remaining positions should be within 70mm.									

Contractor Signature: _____
I certify that the information provided is true and accurate and complies with the ICC requirements.

Agency Owner Signature: _____
This Certification has been reviewed and accepted by the agency.

イ) 日々の精度管理

GPS(GNSS)が要求仕様に規定されている精度を満足していることを毎日、施工時に確認

ICシステムの承諾書(MN州の様式)

(参考) 米国FHWA ICプロジェクト その他の主要な成果

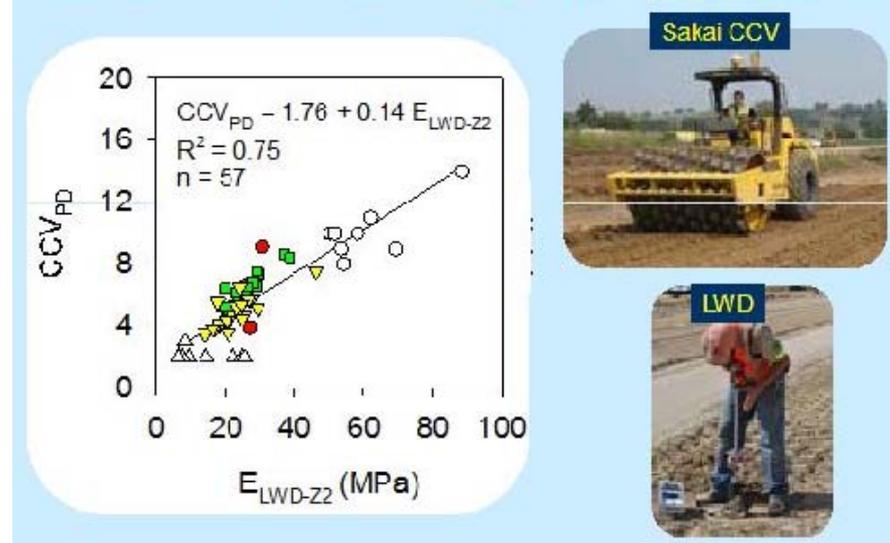
研究成果(土工・路盤工でのIC活用について)

①ICMVと剛性※との間に高い相関を確認

(相関係数0.75)



振動ローラに搭載した加速度計測値の解析値(ICMV)により、締固め度(剛性)が評価できる。



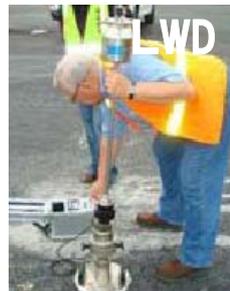
②ICMVで品質管理を行う際の注意点

- ICMVは、機械セッティング(ローラの振動周波数、起振力、振幅)の影響を受けやすい。
- ICMVと他の現場試験結果との相関は、盛土材料の含水比の影響を受けやすい。



試験施工時と本施工時の機械セッティングを一定にする必要がある。
盛土材料の含水比は一定に保つ必要がある。

※剛性=LWD (Light Weight Deflectometer: 小型軽量の重錘落下式たわみ測定装置) による測定値から求まる剛性を指す。



研究成果(舗装ICについて)

■舗装ICシステムの概要

- 転圧中に、転圧回数、ICMVおよび舗装表面温度を計測し、車載モニタに表示。
- 温度と回数が許容範囲内にあることを確認しながら施工。



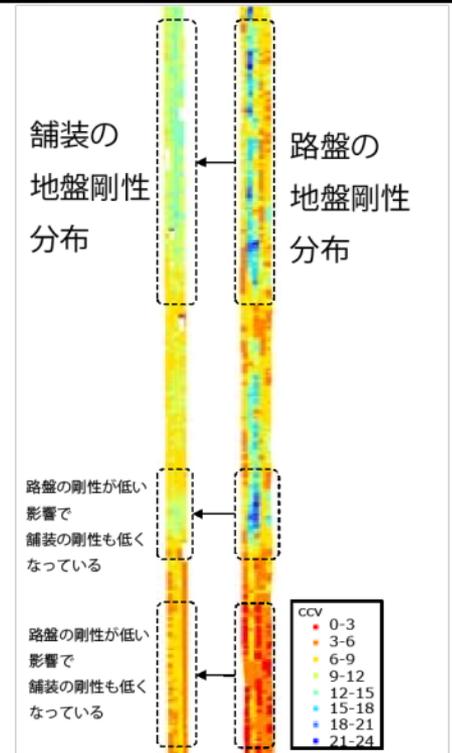
■舗装ICシステムの効果

①面的な品質把握が可能

- ICMVにより舗装の面的な剛性を把握可能。
- 粒状路盤、安定化路盤、アスファルト混合物を、振動転圧することで、ICMV分布の把握が可能

②品質の均一化・向上

- 転圧回数の均一化、転圧パターンの改善、締固め不足・過転圧の防止 → 品質の均一化・向上
- 適切な温度での締固めが実施できる → 品質向上
- ICで下層のプルフローリングと是正が可能



(参考) IC仕様書の作成例(ミネソタ州)

■システムに関する承諾

- ・GPS(GNSS)に要求する精度は($\Delta x, \Delta y$)が300mm以下。

■品質に関する規程

- ・過去の規定:次層を撒き出す前に、90%の測定領域において規定転圧回数と、90%のエリアで規定ICMVを満足すること。
- ・現在の規定:80%のエリアで規定ICMVを満足のこと。また、試験施工は不要。

■測定転圧対象の層厚と層

- ・過去の規定:路体から路床まで、層厚は60cm
- ・現在の規定:路床のみ、回数毎に別データファイル作成、IC転圧完了後に試験実施。

■部分支払比率の計画

- ①ICローラとGPSの認証試験が完了 →10%
- ②ICオペレータの認証が完了 → 5%
- ③品質管理担当者の認証が完了 → 5%
- ④計測した完了パスに応じた部分払い→ $0.8 \times A$

A = 全体転圧範囲において計測転圧回数を距離に置き換えた時の所要距離との比

■提出用データ紛失への対応

- ・ICローラデータをUSBにダウンロードして複数者を仲介する過程でUSBを紛失する事態が発生。
→2~3回/日のデータ提出を義務づけ。
- 使用可能地域ではクラウド技術※1、VRS/CORS GPS network ※2の利用を計画中。



※1:クラウド技術:インターネットの中にあるサーバーを介してデータを保管・共有する技術(ICではデータ紛失対策として活用)。

※2:MN州や隣接州の政府機関等が運営する、GPSの補正信号を提供する基準局網。