

V—5

FWDたわみデータを用いたRCCPの構造解析

北海道大学 学生員 福田 敬大
 同上 正会員 菅原 照雄
 同上 正会員 姫野 賢治
 北海道工業大学 正会員 笠原 篤

1. まえがき

最近わが国ではローラー転圧コンクリート舗装（以下RCCPという）が注目されてきており、第三の舗装とも言われている。RCCPの特徴として、早期に交通開放ができること、通常のアスファルト舗装用機械で舗設できるため経済的であることがあげられるが、配合設計、構造設計、施工管理などの面で技術的な問題を抱えていることも事実である。そのため国内各地をはじめ各国でその試験施工、研究が行われている。

本研究ではRCCPの構造設計に不可欠な因子であるローラー転圧コンクリート（以下RCCという）層、路盤、路床の現地での弾性係数をFWD（Falling Weight Deflectometer）たわみデータをもとにして、多層弾性舗装構造解析プログラムELSA¹⁾を組み合わせた逆解析プログラムを用いて推定し、切取り供試体を用いた室内実験の結果と比較した。

2. 試験施工

平成元年9～10月に札幌市建設局手稲土木事業所構内においてRCCPの試験舗装（幅員13m、延長120m）が建設された。それはRCCの配合、舗装の構造を変化させた6つの区間からなり5、10、15、30m間隔にそれぞれ4本の目地を切っている。RCCの配合、RCCPの構造をTable 1、Fig. 1に示す。配合1は標準的粒度で普通セメントを、配合2は標準的粒度で高炉セメント（B種）を、また、配合3は米国陸軍工兵隊の指針に準拠した細かめの粒度でフライアッシュセメント（普通セメント：フライアッシュ＝80：20で別計量）を使用した。

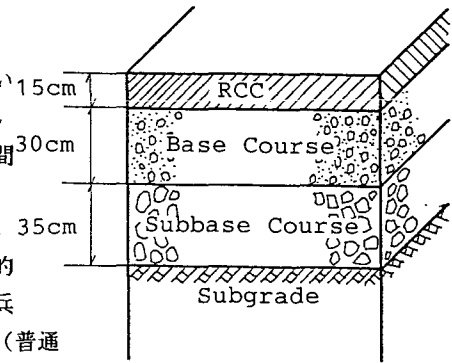


Fig.1 Pavement Structures

3. たわみ測定

現場では各試験区間ごとに、路床の施工後からRCCP打設後材令1カ月まで荷重約5,000kgfにてFWDを用いてたわみ測定を行った。ただし路床上ではセンサーの測定範囲を超えないよう荷重を約2000kgfにして測定した。測定箇所は目地の影響がないような地点を

Table 1 Specified Mix Formula

配合	粗骨材最大寸 mm	細骨材率 s/a %	水 セメント比 w/c %	単位体積 粗骨材	単位量 (kg/cm ³)					セメント比 C %	含水比 w %
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤		
1	20	44.1	31.8	0.77	85	300	956	1171	1.20	12.6	6.1
2	20	44.1	33.1	0.77	99	300	948	1163	1.20	12.7	6.3
3	20	49.3	35.7	0.68	107	300	1032	1036	1.20	12.9	6.7

備考

1) 設計基準曲げ強度 = 45kgf/cm²

2) コンシステンシー評価法 = 突固め試験

3) セメントの単位量 = 300kg/m³

4) 混和剤の種類 = AE剤

5) 運搬時間 = 20分

Structural Analysis of Roller Compacted Concrete Pavement Using FWD Data

by Yukihiro Fukuda, Teruo Sugawara, Kenji Himeno and Atushi Kasahara

選び、たわみセンサーは載荷板中心から 0、30、60、90、120、200cm 離れた位置に設置した。

Table 2 は R C C の配合を変えて施工した各区分において、材令ごとに、20点でのたわみ測定結果を示したものである。P は F W D による 20 地点のたわみ測定における荷重の平均値、たわみ (D_0 、 D_{30} 、 D_{60} 、 D_{90} 、 D_{120} 、 D_{200}) は 20 回測定におけるその区間の平均値である。

3. 切取り供試体の試験結果

Table 3 に切取り供試体の試験結果を示す。切取り供試体は直径 10cm に対し高さが 12~13cm しかないため、圧縮強度は J I S A 1107 の補正係数をさらに補完して直径の 2 倍の高さの供試体強度に換算して推定した。動弾性係数は A S T M C - 597 コンクリート中のパルス試験方法に準拠してパンジット法により求めた。供試体の径長比が小さく、ひずみ測定が困難なため静弾性係数は測定できなかった。

圧縮強度、曲げ強度は材令と共に増大し、普通セメントを用いた配合 1 の強度が最も高かった。これは高炉セメント、フライアッシュセメントを用いた配合 2 および 3 の R C C は強度の発現が普通セメントに比べ遅いためと考えられ、長期材令においては普通セメントと同等の強度を持つことも予想され、91 日強度の試験結果によってその特徴がより明らかになるものと考えられる。動弾性係数は配合 1 において材令と共に増加の傾向が見られるが、配合 2 および 3 においては大きな変化は見られなかった。

Table 2 Measured Deflections

配合		路床	路盤	1 日	2 日	3 日	材令 4 日	5 日	7 日	1 ヶ月
1	荷重 P (kgf)	2,083	4,986	5,029	5,012	5,002	5,013		5,007	4,992
	D_0	1.781	1.472	0.326	0.310	0.299	0.292		0.286	0.268
	D_{30}	0.014	0.555	0.270	0.253	0.248	0.244		0.238	0.225
	D_{60}	0.008	0.251	0.200	0.195	0.189	0.187		0.183	0.174
	D_{90}	0.007	0.192	0.156	0.158	0.153	0.151		0.150	0.145
	D_{120}	0.003	0.137	0.116	0.119	0.115	0.114		0.114	0.111
	D_{200}	0.006	0.076	0.056	0.058	0.057	0.057		0.056	0.056
2	荷重 P (kgf)	2,083	4,987	5,002	5,029	5,008		5,022	5,010	4,997
	D_0	1.781	1.414	0.318	0.303	0.299		0.293	0.283	0.271
	D_{30}	0.014	0.534	0.261	0.248	0.246		0.242	0.233	0.225
	D_{60}	0.008	0.255	0.194	0.187	0.185		0.182	0.176	0.172
	D_{90}	0.007	0.189	0.153	0.149	0.149		0.146	0.143	0.141
	D_{120}	0.003	0.138	0.113	0.112	0.112		0.110	0.108	0.107
	D_{200}	0.006	0.076	0.054	0.054	0.054		0.053	0.052	0.052
3	荷重 P (kgf)	2,083	4,978	5,010	5,008	5,021		5,008	5,012	4,997
	D_0	1.781	1.500	0.392	0.349	0.336		0.321	0.311	0.296
	D_{30}	0.014	0.574	0.314	0.286	0.276		0.267	0.257	0.247
	D_{60}	0.008	0.279	0.227	0.212	0.207		0.201	0.195	0.190
	D_{90}	0.007	0.205	0.174	0.167	0.165		0.161	0.158	0.155
	D_{120}	0.003	0.152	0.127	0.123	0.122		0.121	0.120	0.118
	D_{200}	0.006	0.080	0.061	0.061	0.060		0.058	0.057	0.057

Table 3 Results of Tests in Laboratory

配合	材令	3 日	7 日	2 8 日
1	圧縮強度 (kg/cm ²)	200	237	281
	曲げ強度 (kg/cm ²)	32	38	52
	単位体積重量 (t/m ³)	2.40	2.38	2.36
	動弾性係数 (kgf/cm ²) $\times 10^3$	343	417	411
2	圧縮強度 (kg/cm ²)	126	156	185
	曲げ強度 (kg/cm ²)	24	29	38
	単位体積重量 (t/m ³)	2.34	2.36	2.32
	動弾性係数 (kgf/cm ²) $\times 10^3$	344	362	359
3	圧縮強度 (kg/cm ²)	187	182	245
	曲げ強度 (kg/cm ²)	32	22	47
	単位体積重量 (t/m ³)	2.34	2.33	2.34
	動弾性係数 (kgf/cm ²) $\times 10^3$	362	341	382

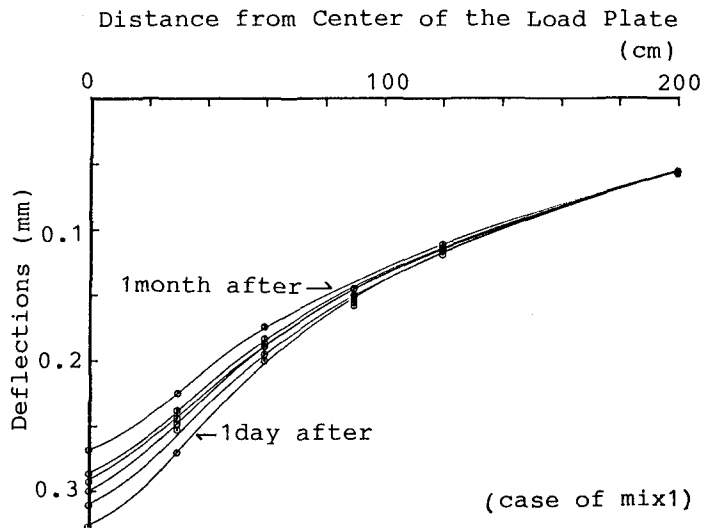


Fig.2 Changes of Measured Deflections

4. 弾性係数の推定法

Fig. 2 に配合2のたわみ測定値の時間的変化を示した。これによるとD₂₀₀の値はほとんど変化がない。また逆にE L S Aを用いた感度分析結果によるとR C C、路盤の弾性係数の変化に対しD₂₀₀の変化は小さく、D₂₀₀の値は路床の弾性係数によって決定されることがわかった²⁾。そこで本研究ではE L S Aによって弾性係数の概略値を求め、それを初期値としD₂₀₀の値に注目してまず路床の弾性係数のみを逆解析プログラムによって決定し、次に路床の弾性係数を固定してR C C、路盤の弾性係数を推定した。このようにして求められた全層の弾性係数を用いて改めて全体的な逆解析を行って最終的な弾性係数とした。

Table 4 List of Analyzed Elastic Moduli of Each Layers

配合	材令	層としての弾性係数 (kgf/cm ²)			路床
		R C C	上層路盤	下層路盤	
1	3日 7月 1ヶ月	1.01×10 ⁵	7.18×10 ³	4.71×10 ²	1.21×10 ³
		1.02×10 ⁵	8.36×10 ³	4.55×10 ²	1.24×10 ³
		1.16×10 ⁵	9.14×10 ³	4.96×10 ²	1.24×10 ³
2	3日 7月 1ヶ月	9.10×10 ⁴	7.42×10 ³	4.56×10 ²	1.27×10 ³
		9.74×10 ⁴	7.91×10 ³	4.81×10 ²	1.33×10 ³
		1.02×10 ⁵	9.01×10 ³	4.63×10 ²	1.34×10 ³
3	3日 7月 1ヶ月	8.76×10 ⁴	5.89×10 ³	4.40×10 ²	1.15×10 ³
		8.77×10 ⁴	7.54×10 ³	4.12×10 ²	1.21×10 ³
		1.02×10 ⁵	7.85×10 ³	4.23×10 ²	1.21×10 ³

5. 逆解析の結果

Table 4に弾性係数の逆解析の結果を示す。どの配合においてもたわみ測定におけるD₂₀₀がほぼ一定の値だったため路床の弾性係数もほぼ同じ推定値となった。R C Cの弾性係数は材令と共に微増の傾向があり、配合1の推定値が大きいことは室内試験の結果と一致している。さらに上層路盤の弾性係数も増大しているが、これは路盤のような粒状材料は非弾性体の性質から、たわみ量が小さくなると見かけの弾性係数が増大するためと考えられる。

Fig. 3 には配合2、材令3日のR C C Pから推定した弾性係数をE L S Aに入力して計算した理論たわみとFWDによる実測たわみの比較を示す。両者はよく一致しており、解が正しく求まっていると言えるがこれが唯一解である保証はない。

またE L S Aを用いてR C C層の底部に発生する曲げ応力を求め、室内試験から得られた曲げ強度と比較したものをTable 5 に示す。条件はデュアルタイヤ、車輪間隔32.5cm、輪荷重2,500kgf×2、接地半径15.0 cmと仮定した。これによるとR C C

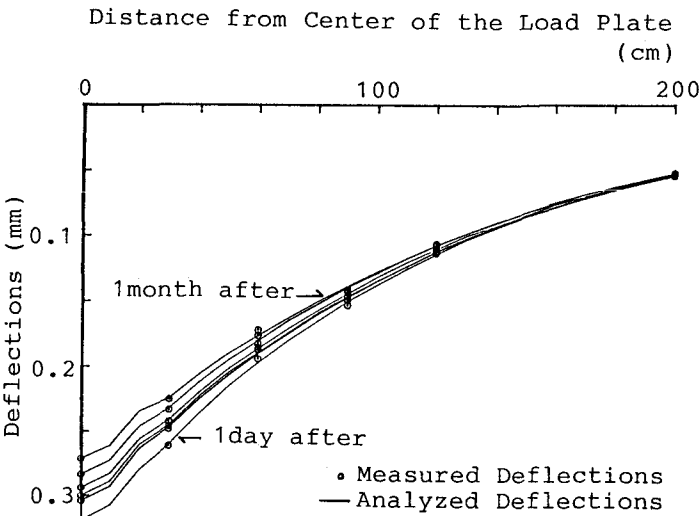


Fig.3 Comparisons of Analyzed and Measured Deflections (case of mix2)

Table 5 Comparisons of Analyzed Bending Stress and Measured Bending Strength

配合	材令	推定曲げ応力 σ_1 (kgf/cm ²)	実験値 σ_2 (kgf/cm ²)	σ_1 / σ_2 (%)
1	3日 7月 1ヶ月	5.2	32	16.3
		4.8	38	12.6
		4.9	52	9.4
2	3日 7月 1ヶ月	4.7	24	19.6
		4.8	29	16.6
		4.5	38	11.8
3	3日 7月 1ヶ月	5.4	32	16.8
		4.6	22	20.9
		5.0	47	10.6

層に発生する曲げ応力は施工後わずか3日後でも曲げ強度の16～20%程度しか発生せず、RCCPの長所である早期交通開放が可能であることを裏付けている。また施工1ヶ月後にはどの配合も曲げ応力は曲げ強度の10%程度になった。

7. あとがき

本研究では室内試験に対応させ施工後3日、7日、1ヶ月のRCCの弾性係数を推定しただけにとどまったが、今後さらにより詳細に、かつより長期間にわたって時系列的変化を追っていく予定で、これによりRCCの弾性係数の特性が明らかになっていくものと考えている。そのためにはより安定した逆解析法の開発も必要である。

最後に本研究を遂行するにあたり、室内試験を行って頂いた、北海道電力株式会社総合研究所の方々に厚く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 姫野ほか：パソコン用多層弾性構造解析プログラム（ELSA）の開発、第18回日本道路会議一般論文集、pp. 338-339、1989
- 2) 丸山ほか：FWDによる舗装の非破壊試験に関する研究、長岡技術科学大学研究報告、第10号、pp. 119-127、1989
- 3) 笠原ほか：舗装構造解析へのフォーリング・ウエイト・デフレクトメータの利用（第6報）土木学会第44回講演概要集第5部、1989. 10