

コンクリート舗装における路盤面の残留変形解析

東京農業大学 地域環境科学部 正員 竹内 康
 東京農業大学 地域環境科学部 正員 小梁川雅
 国立石川高専 環境都市工学科 正員 西澤辰男
 日本道路(株) 技術研究所 正員 遠藤 桂

1.はじめに 一般に、コンクリート舗装の設計は供用期間内のコンクリート版に対する路盤の支持能力は変化しないものとして行われている。しかし、筆者らは、土木研究所で行ったコンクリート舗装の繰返し載荷実験から、路盤面の残留変形によって路盤反力係数(K 値)が低下し、それによって疲労破壊が促進されることを明らかにした¹⁾。このことから、コンクリート舗装の設計において路盤面での残留変形を考慮する必要があることがわかったが、コンクリート舗装において残留変形解析を行った例は殆ど無い。そこで、本研究では、路盤および路床材料の繰返し三軸試験による残留変形特性を用いた繰返し載荷実験の残留変形解析²⁾を行い、実測結果と比較することで解析方法の妥当性を検証することを目的としている。

2.繰返し載荷実験の概要 繰返し載荷実験は、1997年8月8日から同月13日まで、土木研究所内に作製したコンクリート舗装の自由縁部で行った。試験条件は表1に示すとおりであり、コンクリート版のたわみ及び版上下

表1 繰返し載荷試験条件

版寸法	W*B*H=400*500*16 cm	
路盤材 層厚	M-30	60 cm
路床	関東ローム	
載荷箇所	横自由縁部	
載荷回数	800000 回	
載荷半径	15 cm	
載荷重	2~49 kN	
載荷周期	2 Hz	

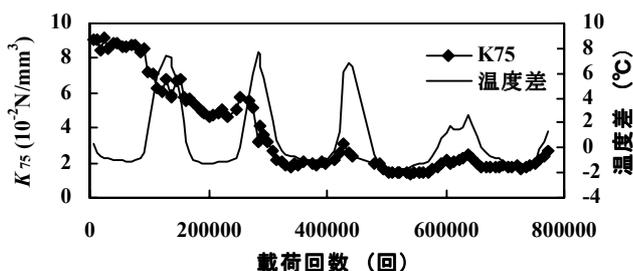


図1 試験期間内の路盤K 値の変化

面の温度差(上面温度-下面温度)等を測定した。その結果、繰返し載荷および版のそり変形によって、最終的に約0.6mmの残留変形が路盤面に生じた。また、試験期間内の路盤K 値を算出したところ、図1に示すように低下していた。

3.路盤・路床材料の残留変形特性 繰返し三軸試験には、茨城県新治村産の粒度調整砕石(M-30)と神奈川県大和市産の関東ロームを用い、各種応力条件下での路盤・路床材料の残留変形特性を測定した。なお、各材料の繰返し載荷回数 N と累積残留ひずみ ϵ_p の関係は式(1)によって近似し、 I および S の応力条件に伴う変化は弾性ひずみエネルギー(E_{dev})を説明変数²⁾として、式(2)によって整理した。これを図2および表2に示す。

$$\epsilon_p = I \cdot N^S \quad (1)$$

ここに、 ϵ_p : 累積残留ひずみ、 N : 載荷回数、 I : $N=1$ のときの累積残留ひずみ、 S : 累積残留ひずみの増加割合

$$\text{路盤: } I = m1 \cdot E_{dev}^{m2} \quad (2a), \quad \text{路床: } I = m3 \cdot E_{dev} \quad (2b)$$

$$S = m4 \cdot E_{dev} + m5 \quad (2c)$$

ここに、 E_{dev} : 偏差ひずみエネルギー、 $m1 \sim m5$: 実験定数

4.残留変形解析 現在、コンクリート舗装の力学解析には主として Westergaard モデルが用いられている。しかし、このモデルでは、路盤以下を一次元のバネとして考えるため、路盤・路床内の応力状態を知ることはできない。そのため、路盤面の残留変形を解析するためには、三次元 FEM 解析を行う必要がある。ところが、コンクリート版を含めた三次元弾性解析において残留変形による支持力の低下を再現するためには、コンクリート版と路盤面の間に空隙を設ける必要があり、解析が煩雑になる。そこで、本研究では、路盤K 値の低下とそれに伴う路盤面圧力の変化を容易に計算できる、平板 FEM 解析によって得られる路盤面での圧力を3次元 FEM の荷

Key Words : コンクリート舗装, 繰返し三軸試験, 残留変形解析

連絡先: 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1 TEL: 03-5477-2342 FAX: 03-5477-2620

重条件として解析を行った。なお、平板 FEM 解析は、図1のK値および温度差を図4に示すように単純化して行った。また、三次元 FEM 解析は、深さ方向に路盤を4層に、路床を5層に分割して行った。なお、各 FEM 解析での材料条件は表3に示す通りで、路盤・路床の弾性係数はBurmisterの2層系の弾性理論を用いK値から算出したものを用いた³⁾。

残留変形解析を行うにあたって、三次元 FEM 解析結果より、荷重点下で路盤表面から7.5~52.5@15cm, 70~150@20cmの点での E_{dev} を算出した。路盤面圧力は、版上下面の温度差とK値によって変化し、 E_{dev} の深さ方向の分布は、路盤面圧力の大きさによって変化する。したがって、図4に示したK値と温度差の組合せの数だけ E_{dev} は変化するため、(1)式がそのまま適用できるのは、荷重開始時の温度差とK値が継続している間だけとなる。そのため、その後の累積残留ひずみは、(3)式にしたがって既に生じた累積残留ひずみを取り入れて算出する必要がある。また、 E_{dev} はFEM解析結果から求めたものであるため、上述した各点での累積残留ひずみに要素厚を乗じ、全層にわたって累積すれば路盤面での残留変形量を求めることができる。

$$\epsilon_{pn} = I_n \cdot \left(N_n + 10^{(\log \epsilon_{pn-1} - \log I_n) / S_n} \right)^{S_n} \quad (3)$$

ここに、 $\epsilon_{pn} \cdot I_n \cdot S_n \cdot N_n$ ：ある温度差とK値の組合せでの累積残留ひずみ・ $I \cdot S$ ・荷重回数、 ϵ_{pn-1} ： ϵ_{pn} の前段階での累積残留ひずみ

表2 路盤・路床材料での実験定数

	m1	m2	m3	m4	m5
路盤	0.0205	0.3997	*	1117.4	0.0837
路床	*	*	14.574	-737.56	0.2341

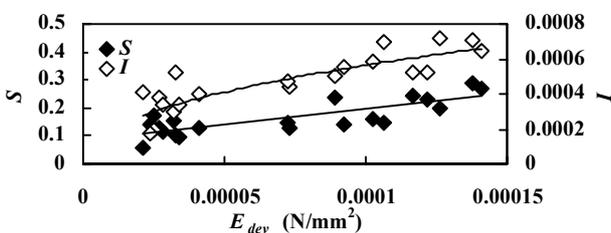


図2 路盤材料での E_{dev} とI, Sの関係

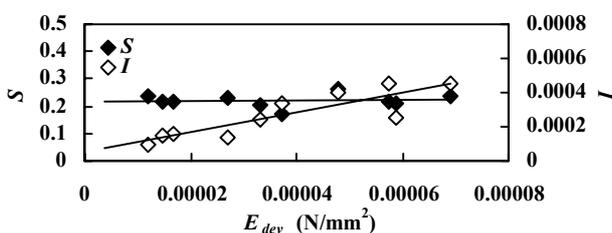


図3 路床材料での E_{dev} とI, Sの関係

図5は荷重に伴う残留変形の解析結果と実測結果の関係を示している。なお、図中に示した実験結果は、温度差が $0 \pm 1^\circ\text{C}$ のときのデータをプロットしたものである。これは、実測たわみにおけるそり変形の影響を取り除くためである。また、解析結果においては、路盤面と路床面での残留変形量を示した。その結果、残留変形は荷重初期段階において温度差が上昇したときに進行し、最終的には実測結果、解析結果ともに0.5~0.6mm程度の残留変形量を得た。また、路盤面に生じた残留変形量のうち、2/3は路床で生じていたことがわかった。

これらの結果より、本解析方法によって精度良く路盤面の残留変形を推定できることが確認された。したがって、本推定方法はコンクリート舗装での路盤面の残留変形解析を行う際に有効であると考えられる。

参考文献：1) 竹内他：路盤の経年変形がコンクリート舗装の疲労破壊に及ぼす影響，土木学会舗装工学論文集，第3巻，pp.93-100, 1998 2) 竹内他：動的三軸試験による粒状路盤の残留ひずみ推定方法に関する一考察，土木学会第54回年次学術講演会概要集，pp.438-439, 1999 3) 竹内他：コンクリート舗装における層弾性係数推定方法に関する研究，土木学会第55回年次学術講演会概要集(CD-ROM)，V-54, 2000

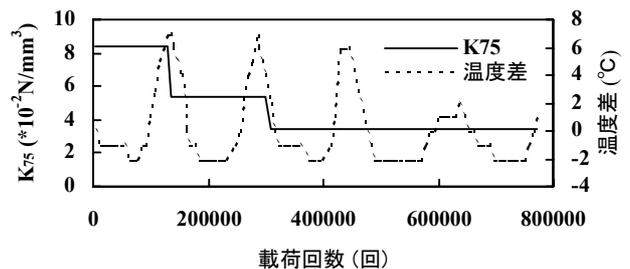


図4 単純化したK値と温度差の変化
表3 FEM解析条件

材料	パラメータ	平板FEM	3DFEM
コンクリート	版厚 (mm)	160	
	密度 (g/cm ³)	2.40	*
	弾性係数 (N/mm ²)	31392	*
	ポアソン比 (-)	0.2	*
路盤	線膨張係数 (1/°C)	0.00001	*
	層厚 (mm)	600	
路盤	弾性係数 (N/mm ²)	*	120.8
	ポアソン比 (-)	*	0.4
路床以下	厚さ (mm)	*	7600
	弾性係数 (N/mm ²)	*	26.9
	ポアソン比 (-)	*	0.4

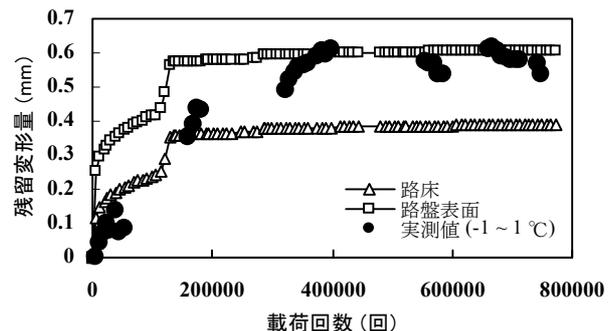


図5 残留変形解析結果と実測結果