

V-28

石炭灰を用いた安定処理路床の構造評価

神戸大学 正 西 勝 神戸大学大学院 学 辻本 敏治
 広鋳技建(株) 井奥 哲夫 神戸大学大学院 学 恒藤 博文

1. まえがき

炉内脱硫方式の流動床ボイラーの普及に伴い、ボイラーから発生する石炭灰は益々増加する傾向にある。そこで、この石炭灰が有する水硬性及び土粒子との良好な噛み合わせに着目して、路床安定処理材(SASS)として利用すべく研究を行った。研究の方法としては、実路五路線（県道若桜南光線、御坂社線、西脇三田線、三木山崎線、市野瀬有馬線）において、FWD測定後に舗装を開削して試料採取を行い、室内試験を実施して材料特性化をはかった。なお、三木山崎線及び市野瀬有馬線においては、比較材としてタフロックを用い、SASSの遅硬性を調べるため施工から舗装開削までの期間を短くした。その後、FWD測定データに基づいて、多層弾性論による逆解析（以下線形解析と略す）及び室内試験結果を用いた反復有限要素解析（以下非線形解析と略す）を行い、安定処理路床の構造評価を行った。

2. 室内試験及び解析概要

・室内試験：舗装開削及びシンウォールサンブラによって採取した路盤、安定処理路床、未処理路床の各試料に対して、室内繰返し三軸圧縮試験¹⁾を実施し材料特性化をはかった。ここで、三木山崎線及び市野瀬有馬線の安定処理路床(SASS)においては、供試体の成形が不可能である（水硬性が十分発揮されていない）ため、開削時の状態で締固め条件に適合するよう静的に供試体を締固めた。

・材料特性：舗装構成材料の復元定数は、上述の室内試験結果を過去の実験結果から得られた構成式で回帰することにより、表-1のように設定した（()内はタフロックの結果を示す）。

・線形解析及び非線形解析：線形解析では、姫野の開発した解析プログラムELSA²⁾を採用した。また、非線形解析では、路盤及び路床材の応力依存性の材料特性（表-1）を考慮して、軸対称反復有限要素法を採用した（解析法及び解析条件は文献1)参照）。各舗装断面に対する解析断面は、いずれも実際の層厚（図-1）に準拠した。

表-1 復元定数に関する実験定数

路盤層の復元定数式 $M_r = K \cdot p^n$ (HMSは $M_r = K \cdot p^n (2.0/q)^m$) : $\nu_r = A_0 + A_1 \sigma_v + A_2 \sigma_v^2$								
路	線	K	M	N	A ₀	A ₁	A ₂	
盤層	若桜南光線	1810.24	0.529	—	0.0530	0.3983	-0.1330	
	御坂社線	1825.74	0.482	—	0.0504	0.4108	-0.1373	
	西脇三田線	1832.54	0.526	—	0.0662	0.4328	-0.1808	
実	三木山崎線	上層	1584.73	1.073	0.322	0.2821	0.2392	-0.0788
		下層	2213.92	0.489	—	0.2522	0.2716	-0.0815
	市野瀬有馬線	上層	1419.51	1.208	0.359	0.0153	0.5080	-0.2059
数		下層	2219.24	0.403	—	0.0276	0.4491	-0.1739

路床層の復元定数式 $M_r = \frac{A}{1+B/q} + C \cdot p + D$: $\nu_r = A_0 + A_1 \sigma_v + A_2 \sigma_v^2$								
路	線	A	B	C	D	A ₀	A ₁	A ₂
床	若桜南光線	-1.914×10 ⁻⁴	1.458×10 ⁻³	2355	-447	0.0528	0.2811	-0.0604
	御坂社線	5.928×10 ⁻⁵	3.394×10 ⁻³	5789	-569	0.0046	0.2895	-0.0486
	西脇三田線	7.055×10 ⁻⁵	3.338×10 ⁻³	4003	-973	0.1067	0.2085	-0.0397
層	三木山崎線	5.483×10 ⁻⁴	2.050×10 ⁻³	1418	-1029	0.0982	0.2410	-0.0509
		(6.882×10 ⁻⁴)	(8.317×10 ⁻³)	(1923)	(1561)	(0.0910)	(0.2163)	(-0.0446)
	市野瀬有馬線	7.540×10 ⁻⁴	1.016×10 ⁻³	1258	-142	0.0981	0.2196	-0.0440
路	三木山崎線	(9.978×10 ⁻⁴)	(1.933×10 ⁻³)	(1268)	(2402)	(0.1108)	(0.1597)	(-0.0274)
	市野瀬有馬線	2.074×10 ⁻⁴	3.397×10 ⁻³	767	-4256	0.1202	0.1946	-0.0408
	市野瀬有馬線	2.074×10 ⁻⁴	3.397×10 ⁻³	767	-4256	0.1202	0.1946	-0.0408

M_r:復元定数値(kgf/cm²)
p:土質主応力(kgf/cm²)
q:垂直主応力(kgf/cm²)
ν_r:横たわみ係数

M_r: 復元定数係数(kgf/cm²) ν_r: 復元ポアソン比 p: 平均主応力(kgf/cm²) q: 偏応力(kgf/cm²) σ: 応力比(q/p)

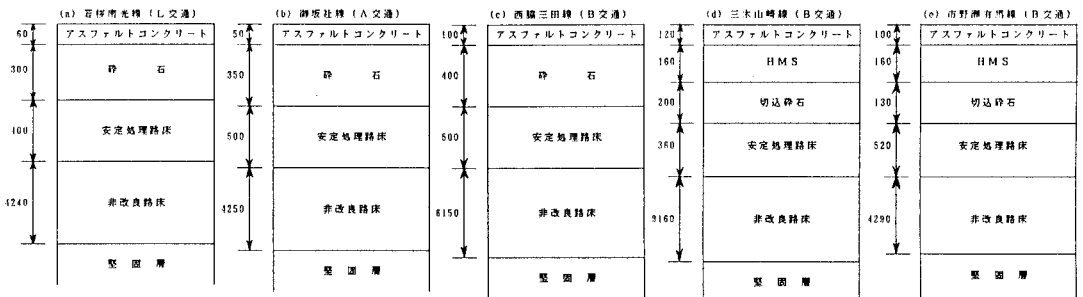


図-1 試験区間断面図（実測層厚：mm）

3. 実験結果及び解析結果

各路線でのFWD測定データによれば、載荷中心でのたわみ量はすべて許容値（L交通：1.3mm、A交通：

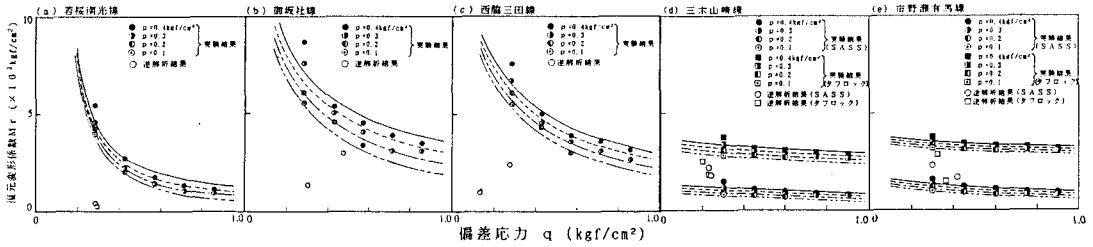


図-2 実験結果（安定処理路床層）

0.9mm、B交通：0.6mm）以下であり、舗装全体としての評価はいずれも良好であった（図-3参照）。これは、SASSの安定処理効果及び現行の層厚設計法が妥当であることを示唆するものである。また、SASSが遅硬性であることも認められた。つづいて、このFWD測定データに基づいて線形解析を行った結果、相対的に安定処理路床の変形係数は過小に評価された（未処理路床と同等以下になる場合も多々認められた）。これは、安定処理効果、層厚設計法、構造評価法のいずれかに疑問があることを示唆するものである。そこで、線形解析結果を室内試験結果と比較したところ、線形解析結果は、全路線において、路盤（三木山崎線及び市野瀬有馬線では下層路盤）及び未処理路床層では実験結果を大きく上回ることが認められた（図は省略）。また、安定処理路床層においては、若桜南光線、御坂社線、西脇三田線では実験結果を大きく下回り、他の二路線では、SASSでは実験結果を上回るが、タフロックでは実験結果を下回ることが認められた（図-2参照）。ここで、三木山崎線及び市野瀬有馬線においては、SASSによる改良路床の供試体が締め固め条件に適合するように締め固めたものであり、SASSの遅硬性が影響しているものと考えられる。この点を考慮すると、今後、水硬性により実験結果はタフロックでの値に近づくものと思われる。これらの結果から、線形解析結果は路床の安定処理効果を過小評価する傾向にあるものと推察される（線形解析による構造評価法に疑問があることを示唆）。つづいて、上述の非線形解析を行い、解析結果をFWD測定データと比較したところ、若桜南光線では荷重中心から離れるにつれて、また他の四路線では全般的に、解析結果とFWD測定データの間に大きな差異の生じていることが認められた（図は省略）。この差異の主要因として、不確定な未処理路床の材料定数の変動や表層内部の温度変化等が考えられる。そこで、表層のスティフネスを舗装表面下5cmの温度に基づく値とし、未処理路床の材料定数を变化させた解析を行ったところ、図-3に示すように、若桜南光線、御坂社線、西脇三田線において、非線形解析結果はFWD測定データに良く追従することが認められた。また、他の二路線においては、SASSでは一部差異が認められるが、タフロックでは良く追従することが認められた。この結果から、上記過小評価の傾向が再確認できる。

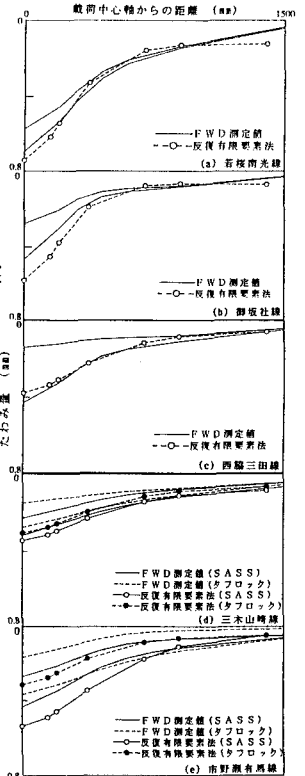


図-3 修正した非線形解析結果とFWD測定結果の比較

4. おわりに

以上の結果より、線形解析による構造評価法は、路床の安定処理効果を過小評価し、舗装構造によってはその適用性に疑問が残ることが判明した。

《参考文献》

- 1) 西 勝他：流動床ボイラー灰による安定処理路床土の供用性評価、建設工学研究所報告、第34号、pp. 227-242、1992。
- 2) 姫野賢治：パソコンによる舗装の多層弾性構造解析、アスファルト、Vol. 32、No. 161、pp. 65-72、1989。