

IV-73 スラグ碎石路盤と切込碎石路盤の供用4年後における調査について

大有道路建設株式会社研究所 正員 ○ 吉 兼 亨
名古屋大学工学部土木工学科 正員 植下 協

1. まえがき

高炉スラグより生産された碎石を、道路舗装の路盤等に他の添加物を混入しないで用いた場合でも、その潜在的な水硬性を有するものにあつては、交通に供されていても0.5年～2.0年の間にはコンクリート化することが認められているが、このように硬化したスラグ路盤に関しては、アスファルト舗装要綱に現在のところ等値換算係数¹⁾は与えられていないが、本調査では供用4年後の舗装の部分的解体による測定を実施し、施工時と4年後の地盤係数の変化、アスファルトコンクリート路面の亀裂の発生状況、ベンケルマンピームによるタワミ測定結果から、切込碎石の場合との比較検討を行った。

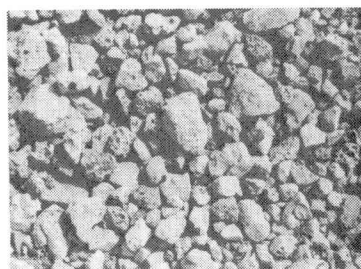


写真-1 施工時のスラグ碎石

また、くり返し平板載荷試験により求めた等値変形係数をもとに層構造解析の計算をNascimento法²⁾で行い、従来のNascimento法で計算出来ないところは植下の理論計算³⁾をもとにNascimento法を拡張して計算し、各層の変形係数を求め、竹下の関係⁴⁾を利用して等値換算係数の推定を行った。



写真-2 供用4年後の舗装体部分
およびスラグ碎石層のコアサンプル

2. 試験舗装の概況

試験舗装は、昭和40年8月に、愛知県東海市上野町地内の産業道路(国道247号線)荒尾仮インターのランプウェイの一部20m区間に施工された。その試験舗装の断面を図-1に示した。2種の舗装断面の相違点は25cm厚さの下層路盤材をスラグ碎石と切込碎石とに使い分けたことである。

それぞれについての試験結果を、表-1に示す。なお、路床は砂(細粒分14%、統一土質分類によればSM)で、設計CBRは10%、施工時地盤係数 K_{30} は、スラグ五区で平均 16.2 kg/cm^3 、切込碎石五区で平均 10.0 kg/cm^3 であった。

施工時には路床、下層路盤上における地盤係数 K_{30} の値、現場含水比および現場乾燥密度が測定されていた。それらの値を表-1に併記した。

スラグ碎石五区		切込碎石五区	
アスファルトコンクリート	10	アスファルトコンクリート	10
アスファルトマカダム	10	アスファルトマカダム	10
粗度調整碎石	10	粗度調整碎石	10
スラグ碎石 (切込)	25	切込碎石	25
路床	25	路床	25

図-1 試験舗装の断面

表-1 試験舗装に用いた下層路盤材料

下層路盤材	粒 度				施 工 時				
	最大粒径 (mm)	74μ 通過率 (%)	均等係数 $\frac{D_{60}}{D_{30}}$	曲率係数 $\frac{D_{30}}{D_{10}}$	修正 CBR (%)	塑性指数	0.6C (%)	現 場 含水比 (%)	現 場 乾燥密度 (kg/cm^3)
スラグ碎石	50	3.7	56	1.79	53.4	-	-	1.5	2.18
切込碎石	50	9.1	58	1.50	46.9	11.6 [※]	6.4 [※]	3.5	2.28

註: ※ EPは 解体調査時の試料による。

3. 供用4年後の調査

舗設後、約4年を経過した昭和44年6月に面五区、3箇所づつの解体により調査を行った。舗装表面の亀裂発生状況は、写真-3に示すように、切込碎石互区で亀甲状の亀裂がみられたが、スラグ碎石互区では亀裂の発生は全く認められなかった。

解体調査により計測した舗装の各層の厚さは図-3に示す。スラグ路盤の状況は写真-2でわかるようになかなり硬化しているが下層路盤を2層にわけて輾圧したときの輾圧面やその他の部分で土砂による汚染された部分では一体化が妨げられていた。また粗大骨材間の間げきにも大きい空けきが認められ、これらがコアボーリングによる供試体採取において全層一体として取り出すことの出来ない原因となっていた。

なお、採取したスラグ路盤の供試体（ $\phi 10\text{cm} \times 12.7\text{cm}$ ）の湿潤時一軸圧縮強度は 68.7 kg/cm^2 であった。

4. ベンケルマンビーム試験結果

ベンケルマンビームにより、面五区に対し輪荷重7ton、タイヤ空気圧 7.0 kg/cm^2 のトラック荷重により最大タワミ量を計測し、その結果を図-2に示した。図-2において、各深度の変位量が示してあるが、これらは路面より測定深度までボーリングし、そこに鉄ピンを打ち込み、その頭部にベンケルマンビームの先端をあてて計測した。

これらの路床上面の変位量の大小は、路床の支持力と舗装構造の荷重分散の結果による値を示しており、各層の上面と下面の変位量の差は、その層の圧縮量を示している。図-2においてスラグ碎石互区の方が、舗装表面ならびに路床面でのタワミ量が切込碎石互区より小さい。舗装表面における亀裂発生の有無は、ベンケルマンビームによる舗装表面の最大タワミ量の違いにあらわれている。すなわち、この場合（交通荷重条件、測定時のタイヤ荷重条件、舗装の温度、測定法などを含めた）では、平均 1.11 mm の路面タワミでは亀裂はなく、平均 1.53 mm の路面タワミでは亀裂を生じていることになる。

なお、図-2には、スラグ碎石路盤が切込碎石路盤よりも圧縮量が大きくなっていることなどよく理解し難い結果も含まれている。このことについては、ベンケルマンビーム試験に含まれる測定誤差の問題等⁵⁾も関係していると考えられるが、ここではこれ以上立入らないこととする。

5. 平板載荷試験結果

直径30cmの剛性円板による平板載荷試験を、供用4年後の解体調査時には、舗装表面、上層路盤面、下層路盤面、路床面で行った。

それらの結果を図-3にまとめて示す。図-3によれば、施工時の切込碎石互区の路床は締固め不足であったためか、 K_{30} 値がスラグ碎石互区よりも低い値であったが、4年間の交通荷重によりスラグ碎石互区と同様の

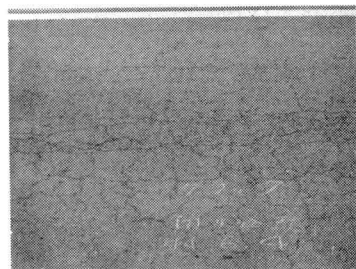


写真-3 切込碎石互区の路面にあらわれた亀甲状の亀裂（供用4年後）

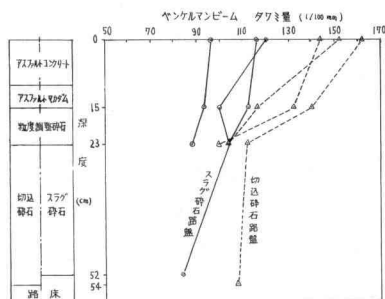


図-2 ベンケルマンビーム試験結果（測定時路面温度 $26\sim 29^{\circ}\text{C}$ ）

表-2 平板載荷試験結果にもとづく2層地盤解析による各層の変形係数

互区	層	施工時	供用4年後
スラグ碎石互区	路盤	60.3 kg/cm^2	$3,830\text{ kg/cm}^2$
	路床	287	266
切込碎石互区	路盤	726	905
	路床	177	292

16 kg/cm²程度に上昇している。下層路盤面の K₃₀ 値は切込碎石五区で、路床面の変形係数の上昇による影響も含んでいるが、切込碎石路盤自体も変形係数が約25割程度上昇した結果（表-2参照）、19.5 kg/cm²から27.7 kg/cm²へと増加している。これに対し、スラグ碎石路盤面の K₃₀ 値は22.3 kg/cm²から49.3 kg/cm²に、すなわち、表-2に示す層構造計算によれば、路盤自身の変形係数は、施工時の603 kg/cm²が約6倍の3,830 kg/cm²に上昇しており、甚々しい強度増加を示している。

舗装表面における地盤係数は、いずれの場合も、下層路盤面の値より低下しており、スラグ碎石五区において顕著である。しかし、それでもなお、舗装面におけるスラグ碎石五区の地盤係数37.8 kg/cm²は、切込碎石五区の24.5 kg/cm²に対し1.54倍で、前述のベンケルマンビーム試験結果から予想される比率1.38と近い値を示している。

6. 繰返し平板載荷試験結果

繰返し平板載荷試験結果の内、後に述べる Nascimento 法による計算に用いた各層における夫々の荷重強度の分のみについて表-3に示すが、これらの試験は解体時において、舗装表面（第1面）、上層路盤面（第2面）、下層路盤面（第3面）、路床面（第4面）での3箇所の値の平均値を求め、層構造解析を行って見た。その計算はNascimento 法を拡張して計算した。

紙面の都合で計算過程は省略し、計算結果のみを図-4と図-5に示した。図-4は、表-3の測定値のすべてをそのまま用いて、機械的に計算（仮定Ⅰ）した結果であるが、その結果の変形係数は、延青層の場合、E₁=1,140 kg/cm²、上層路盤層（粒度調整碎石層）の場合、E₂=330 kg/cm²で、切込碎石五区の E₁=1,670 kg/cm²、E₂=2,830 kg/cm²に比し、異常に小さい。この原因として、スラグ路盤の版効果が著しいため、スラグ碎石路盤上の載荷試験値に反力用トラック輪荷重の影響があったとして、

延青層、上層路盤層の変形係数としては切込碎石五区の方が正しい値を示しているとの仮定（仮定Ⅱ）によって計算しなおしてみると、図-6のようになり、スラグ碎石の変形係数は、E₃=3,840

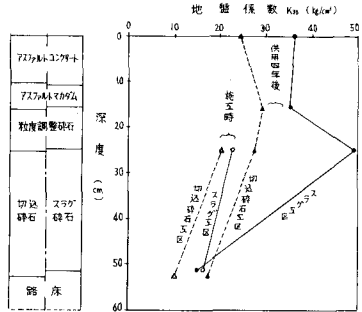


図-3 平板載荷試験による各層の地盤係数

表-3 繰返し平板載荷試験結果より求めた等値変形係数

層	スラグ碎石五区			切込碎石五区		
	荷重強度 (kg/cm ²)	変位量 (cm)	等値変形係数 (kg/cm ²)	荷重強度 (kg/cm ²)	変位量 (cm)	等値変形係数 (kg/cm ²)
第1層	6.3	0.099	1146	6.3	0.133	848
第2層	4.0	0.062	1154	4.0	0.099	921
第3層	4.0	0.056	1280	4.0	0.121	586
第4層	0.4	0.021	340	1.6	0.090	350

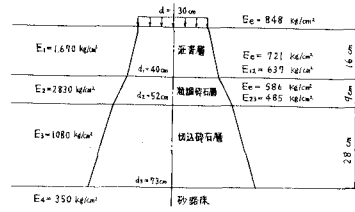


図-4 切込碎石五区舗装体の解析結果

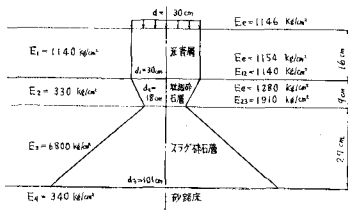


図-5 スラグ碎石五区舗装体の解析結果 (仮定Ⅰによる)

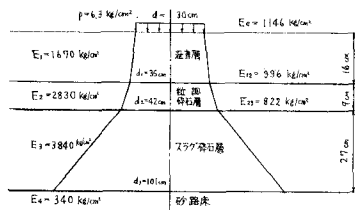


図-6 スラグ碎石五区舗装体の解析結果 (仮定Ⅱによる)

kg/cm²となり、表-2の場合の値3,830 kg/cm²ともよく対応した値が示された。一方、切込碎石の変形係数も、図-4のE₃ = 1,080 kg/cm²は表-2の905 kg/cm²に近い値となっており、ほぼ妥当な値と考えられる。

7. 等値換算係数の検討

図-4、図-6の結果の変形係数にもとづいて竹下⁴⁾の関係を利用して等値換算係数を推定してみると、表-4のようになった。表-4によれば、粒度調整碎石層ならびに切込碎石はいつでもアスファルト舗装要綱に示された値よりも2割前後大きい値となっている。

表-4 層構造解析の変形係数にもとづいて推定された等値換算係数

材 料	伏用位置	本例の計算結果による等値換算係数	アスファルト舗装要綱に示されている等値換算係数
粒度調整碎石層	上層路盤	0.45	0.35
切込碎石層 (修正CBR 30以上)	下層路盤	0.29	0.25
スラグ碎石(CBR)層	下層路盤	0.52	示されていない

スラグ碎石層についてはアスファルト舗装要綱には明示されていないが、表-4によれば、従来の提案⁶⁾よりやや低い値となっている。これは前述したように、スラグ碎石層の内部に土砂の汚染があったり、粒度管理の充分に行われていない切込の状態で用いられていたことにより、粗骨材間の空けきがあって十分なる一体化が達成されていなかったためであろう。このことから水硬性スラグを切込の状態で下層路盤に用いる場合には表-4の値より2割減じて0.4程度を用いるであろう。

8. おすび

供用4年後の試験舗装を調査し、水硬性の確かなスラグ碎石については、切込の状態で下層路盤として用いる場合は2割の安全を見込むと等値換算係数は0.4を与えることが示し得た。なお、水硬性が充分に確かめられているスラグ碎石（例えば、一軸圧縮強度60 kg/cm²）が粒度調整碎石の状態で用いられるならば、セメント安定処理層に与えられている等値換算係数0.55を与えることが出来るのではなかろうか。

なお、硬化したスラグ碎石層はコンクリート版状となるため、セメント安定処理と同様に最小施工厚を考慮する必要があるだろう。

謝辞

本調査を実施する機会を与えて下さった、愛知県土木部道路建設課ならびに、半田土木事務所の方々に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和42年改訂版）
- 2) 植下協：舗装構造の力学，道路建設，No. 240 昭和43年1月，pp 59～68.
- 3) 植下協，G.G.マイヤホフ：岩盤上土層表面における弾性変位について，土木学会論文集，第143号，昭和42年7月，pp 9～15.
- 4) 竹下春見：舗装厚指数（SN）について，道路，昭和40年11月号，pp 907～913
- 5) 植下協，岡田久雄：舗装構造評価のためのベンケルマンビーム試験に関する考察，土木学会第23回年次学術講演概要，第IV部門，昭和43年10月.
- 6) 伊藤謙：水冷鉚棒を用いた粒度調整材料，舗装，昭和43年8月号，pp 20～23