小型模型土槽実験による繰返し載荷を受ける 粒調砕石路盤の水浸劣化と沈下挙動

吉田信之¹・西 勝²・佐野正典³・荒井猛嗣⁴

¹ 正会員 Ph.D. 神戸大学助教授 都市安全研究センター都市基盤分野(〒657 神戸市灘区六甲台町1-1)
 ² 正会員 工博 神戸大学教授 都市安全研究センター都市基盤分野(〒657 神戸市灘区六甲台町1-1)
 ³ 正会員 工博 近畿大学助教授 理工学部土木工学科(〒577 大阪府東大阪市小若江3-4-1)
 ⁴ 学生会員 神戸大学大学院自然科学研究科(〒657 神戸市灘区六甲台町1-1)

供用中の舗装表層にひび割れが発生している場合,そのひび割れ箇所からの雨水の浸入に伴う路盤ある いは路床の劣化はわだち掘れを評価する上で無視できない要因の一つと考えられる.本報では,表層のひ び割れから雨水が浸入し路盤層を浸水した場合を想定して小型模型土槽を用いた繰返し載荷試験を行い, 繰返し載荷中の路盤材料の変形挙動及び間隙水圧変化を観測することによって,路盤の泥濘化による劣化 と沈下挙動について考察を行った.

Key Words: repeated loading, base-course, model test, submergence, softening, deterioration

1. 序 論

アスファルト舗装のわだち掘れは、舗装の供用性 ならびにサービス性能に大きな影響を及ぼすのみな らず、他の破壊形態を誘発する原因でもあるため道 路維持管理上大きな問題であるが、近年の交通量の 増加や走行車両の大型化に伴い著しく助長される傾 向にある.

わだち掘れは、一般に大型車両による繰り返し荷 重によるアスファルトコンクリート層、路盤層及び 路床の塑性変形の累積と考えられ、その解析手法も 種々提案されてきている^{10~6)}.

さて、供用中の舗装表層にひび割れが発生してい る場合には、そのひび割れ箇所からの雨水の浸入に 伴う路盤あるいは路床の劣化はわだち掘れを評価す る上で無視できない要因の一つと考えられるが、従 来十分な研究がなされてきたとは言い難く、そのメ カニズムについては不明な点も少なくない。

著者らはこれまで実規模の円形走行試験を実施し⁰, 粒調砕石路盤層を有する舗装では路面にひび割れが 現れた後過大なわだち掘れが発生することを観察し ている⁸. さらに、この過大なわだち掘れを説明す るためにはアスファルトコンクリート表層の劣化に よるスティフネスの低減を考慮するだけでは十分で なく水浸による路盤の軟弱劣化を適切に考慮するこ とが必要であることを示してきた⁹.

そこで本報では、表層のひび割れから雨水が路盤 層に浸入した場合を想定して小型模型土槽を用いた 繰返し載荷試験を行い^{10).11)}、載荷試験中の路盤材料 の変形挙動及び間隙水圧変化を観測することによっ て、軟弱化に伴う路盤の劣化現象と沈下挙動につい て考察を行った.

2. 小型模型土槽を用いた路盤材の繰返し載 荷試験

(1) 実験装置

実験で用いた装置を図-1に示す.小型模型土槽は 鉄製で,高さ40cm,幅50cm,奥行き15cm, 下部には多数の細孔を有する鋼板を設置してありモ デル路盤底部から水浸出来るようになっている.ま た,土槽前面はガラス板で実験中の供試体の様子を 観察できるようになっており,土槽背面は図-2に示



図-1 小形模型繰返し載荷試験装置



図-2 土槽背面における間隙水圧計の配置



図-3 粒調砕石の粒径加積曲線

すように9個の間隙水圧計が取り付けられるように なっている.

表-1 粒調砕石の締固め特性

最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	比重
7.3	2.000	2.606

繰返し荷重は,調圧弁で調整された空気圧により 二方向電磁弁で制御された加圧シリンダーによって 載荷板を介して所定の圧力が路盤面に載荷される. 載荷板として幅10cm及び15cmの鋼鈑を用いた.な お,実験結果には載荷板の大きさの影響は見られな かったので,本報では載荷板10cmの結果を中心に 論ずる.

(2) 試験材料とモデル路盤作製

モデル路盤に用いた試験材料は、有馬層群に属す る石英斑岩からなる粒調砕石であり、円形走行試験 時と同じ粒度分布になるよう粒度調整して試験に供 した.その締固め特性を表-1に、粒径加積曲線を図 -3に示す.円形走行試験で用いた粒調砕石と比べ ると、本実験で用いた試料の締固め特性は岩種の相 違により少し異なっており、最適含水比は小さく最 大乾燥密度は大きいものとなっている.

モデル路盤は、土槽内壁面にシリコングリースを 十分塗布した後、含水比調整した粒調砕石を土槽に 入れ数層ずつ鋼鈑を介してランマーを用いて締固め、 最終的に層厚33.5cmの路盤を作製した.このとき、 円形走行試験時と同じように締固め度95%以上にな るよう締固めた.締固め終了後、路盤面上に載荷板 およびその両側にひび割れアスファルトコンクリー ト表層版を模して鋼板(載荷板が10cmの場合幅 19.8cm,重量38.5N;載荷板が15cmの場合幅 17.3cm,重量30.9N)を敷設した.鋼鈑と載荷板両 側面との間には、ひび割れ幅としてそれぞれ2mmの すき間を設けている.

(3) 実験方法

載荷試験は、モデル路盤作製後直ちに繰返し載荷 を行う試験と、表層ひび割れ部から雨水が浸入し路 盤が完全に浸水した場合を想定して路盤作製後水浸 させてから繰返し載荷を行う試験の2種類を行った (以降、非水浸および水浸と称する).水浸状態で の試験では、モデル路盤作製後、土槽外部の貯水タ ンクの水位を路盤表面に保ちながら路盤底部から徐々 に水位を上げて水浸させていき、約1日放置して路 盤表面まで完全に浸水していることを確認してから

表-2 載荷条件

載荷·除荷時間	繰返し載荷応力	載荷回数
(sec)	(kPa)	(回)
載荷時間:0.1 除荷時間:2.0	50, 100, 200, 400	50000



図-4 沈下量と載荷回数の関係

載荷段階に移った.載荷条件を表-2に示すが,水 浸及び非水浸とも同じ条件である.

繰返し載荷中,鉛直変位量は載荷軸に取り付けた ダイヤルゲージで計測し,また間隙水圧は土槽側壁 に取り付けた9個の間隙水圧計で計測した.また, 粒子の移動など路盤材料の様子は適宜ガラス面から 直接観察した.繰返し載荷終了後,ふるい分け分析 を行い載荷板下の粒度分布の変化も調べた.

3. 実験結果と考察

(1) 沈下量

得られた沈下量と載荷回数の関係を図-4 にまと めて示す.

図より,載荷回数とともに沈下が進展することが わかる.載荷応力が大きいと沈下量も大きいが,い ずれの場合も載荷初期に大きな沈下が生じ,その後 漸増する傾向にある.

非水浸と水浸を比べると, 沈下量は載荷応力にか

かわらず水浸状態の方が大きいことがわかる.ただし、その差は、応力レベルが小さい場合(50,100kPa)は初期沈下量の差がそのまま反映されているが、応力レベルが大きくなると水浸状態での沈下量がかなり大きくなるため差も大きくなっている. また、沈下量は、非水浸の場合は載荷回数が4000程度でほぼ一定値に落ち着くが、水浸の場合は載荷回数が5000でも応力レベルが大きい場合(200,400kPa)にはさらに増加する傾向がある.



図-5 過剰間隙水圧と載荷回数の関係(載荷応力50kPa の場合)





🕒 0.5 kPa 🛑 1.0 kPa 🛑 1.5 kPa

図-6 過剰間隙水圧と載荷回数の関係(載荷応力100kPa の場合)

(2) 過剰間隙水圧

水浸状態の場合の過剰間隙水圧の載荷回数に伴う 変化を,載荷応力ごとにそれぞれ図-5~8に示す. なお、各図の右肩の数字は載荷回数である。

図から、載荷応力50kPaの場合(図-5),過剰間隙 水圧はほとんど認められない.また、載荷応力 100kPaの場合(図-6),載荷回数が300で過剰間 隙水圧が載荷板縁下部でわずかではあるが発生し, 載荷回数とともに漸増する.また、理由は分からな

の場合)

いが載荷回数が30000以降で過剰間隙水圧が若干小 さくなっているのが認められる.

載荷応力200kPaの場合(図-7),載荷回数が100 のときすでに全箇所で過剰間隙水圧が発生しており, 載荷回数に係らず載荷板中心下および縁下部で大き な過剰間隙水圧が生じている.発生間隙水圧には載 荷回数による大きな差は見られない.載荷応力 400kPaの場合(図-8)にも同様な傾向が見られる が,特に載荷板中心下および縁下部で大きな過剰間



図-9 目視による泥濘化領域と載荷回数の関係(載荷応 力200kPaの場合)

濘化領域を形成していくのが観察された. 図-9, 10 に目視観察で認められた泥濘化領域を示す.なお, 図中には参考のため前項の過剰間隙水圧も示してあ る.

図から、泥濘化領域は載荷回数の増加とともに下 方及び側方に進展していき最終的に半円形状になる ことがわかる. 載荷応力が大きい方が最終的に大き な泥濘化領域を形成している.表-3は、載荷試験終 了後の載荷板下の半円筒形部分の試料を採取して行っ たふるい分け試験から得られた細粒分と粗粒分の割 合である.表中には、試験前の細・粗粒分として粒 径加積曲線(図-3)から読み取った値も参考に記し てある. モデル路盤が均一にかつ粒子破砕もなく作 製されたと仮定すると、泥濘化領域では細粒分が増 加し、またその増分は載荷応力が大きいほど大きく なる傾向にあることが裏付けられる.

間隙水圧との関係を見てみると、泥濘化領域が目



🔵 0.5 kPa 🛑 1.0 kPa

図-8 過剰間隙水圧と載荷回数の関係(載荷応力400kPa の場合)

隙水圧が生じている.

(3) 泥濘化領域

載荷試験中、適宜目視によって路盤の様子を直接 観察した.

載荷応力が50kPaと100kPaの場合は、路盤材粒 子に特に変化は認められなかったが、載荷応力が 200kPaと400kPaの場合には載荷回数が約200を超 えると載荷除荷サイクルによって細粒分が吸い上げ られるように路盤中を上昇し載荷板下部に集まり泥

表-3 載荷試験終了後の載荷板下部の細・粗粒分の割合

粒径	載荷応力		粒径加積曲線から読取った
(mm)	200kPa	400kPa	割合(試験前)
0.42以上	81.4 (%)	81.2 (%)	87.4 (%)
0.42以下	18.6 (%)	18.8 (%)	12.6 (%)



図-11 目視による泥濘化領域と載荷回数の関係(載荷応 カ400kPaの場合;載荷板幅15cm)

関係である.載荷板幅10cmのときの同じ載荷応力 の場合(図-10)と比べて,発生している過剰間隙 水圧の大きさは載荷板下部で特に大きくなっており, 載荷板の大きさによる寸法効果が認められる.ただ し,泥濘化領域の深さ方向の拡がりは両者でほとん



図-10 目視による泥濘化領域と載荷回数の関係(載荷応 力400kPaの場合)

視でわかるようになる以前から過剰間隙水圧が発生 していることがわかる.また,泥濘化領域が形成さ れた後も過剰間隙水圧には大きな変化が見られない が,特に大きな過剰間隙水圧が生じた箇所は泥濘化 領域にほぼ一致している.これは,泥濘化領域では 粗粒土ではなく粘性土としての性質が支配的となる ため泥濘化領域形成箇所あるいはその近傍で過剰間 隙水圧が発生することを示唆するものと考えられる. また,先に見た沈下量の結果では載荷応力が 200kPaと400kPaの場合に非水浸と水浸とで沈下量

の増加傾向に顕著な差が現れていたが、これは泥濘 化領域の形成に大きく関係しているものと考えられ る.

さて,図-11は幅15cmの載荷板で載荷応力 400kPaの場合に得られた泥濘化領域と載荷回数の ど同じである.また,ここでは示していないが沈下 量と載荷回数の関係においても載荷板幅の違いによ る有意な差は認められなかった.

4. 結 論

本報では、表層のひび割れから雨水が路盤層に浸入した場合を想定して小型模型土槽を用いた繰返し 載荷試験を行い、泥濘化による路盤の劣化と沈下挙 動について考察を行った.その結果、以下の結論が 得られた.

1. 沈下量は非水浸の場合より水浸の方が大きく, 長期にわたって漸増する傾向がある. さらに,水浸 状態での沈下挙動は載荷圧の大きさに敏感であり, 特に載荷応力が大きい場合には長期にわたって沈下 量が著しく増加する傾向がある.

2. 載荷応力が 200kPaと400kPaの場合,水浸状態 での繰返し載荷により細粒分が載荷板下に吸い上げ られるように集まり泥濘化領域を形成し,その領域 は載荷板直下を中心にした半円形状になる.この泥 濘化領域の形成は水浸状態での沈下特性に大きく影 響を及ぼしているものと考えられる.

3. 過剰間隙水圧は, 泥濘化領域が目視確認される 前から発生し始め,特に著しく大きな過剰間隙水圧 が発生する箇所は泥濘化領域にほぼ一致する.

 水浸状態での繰返し載荷に伴う過剰間隙水圧の 大きさには載荷板の大きさによる寸法効果が認めら れたが、沈下量及び泥濘化領域の深さ方向への進展 には載荷板の影響は認められない。

なお、本研究については、さらに精緻な実験を行 い継続していく予定である.

参考文献

- (1) Lai, J.S. and Hufferd, W.L. (1976). Predicting permanent deformation of asphalt concrete from creep tests. Trans. Res. Record 616, pp. 41–43.
- (2) van de Loo, P.J. (1976). Practical approach to the prediction of rutting in asphalt pavements: the Shell method. Trans. Res. Record 616, pp. 15-21.
- (3) Heukelom, W. and Klomp, A.J.G. (1967). Consideration of calculated strains at various depths in connection with the stability of asphalt pavements. Proc., 2nd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan, Ann Arbor, Michigan, pp. 107-123.

- (4) Barksdale, R.D. (1972). Laboratory evaluation of rutting in base course materials. Proc., 3rd Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan, Ann Abor, Michigan, pp. 161-174.
- (5) McLean, D.B. and Monismith, C.L. (1974). Estimation of permanent deformation in asphalt concrete layers due to repeated traffic loading. Trans. Res. Record 510, pp. 14–30.
- (6) Monismith, C.L., Inkabi, K., Freema, C.R. and McLean, D.B. (1977). A subsystem to predict rutting in asphalt concrete pavement structures. Proc., 4th Int. Conf. on Structural Design of Asphalt Pavements, Univ. of Michigan, Ann Arbor, Vol. 1, pp. 529–536.
- (7) 西 勝,河端 薫,飯田幸男,1991.円形走行試 験におけるアスファルト舗装の挙動とその解析.土 木学会論文集,第426号/V-14,pp.101~110.
- (8) Nishi, M., Kawabata, K. and Yoshida, N. (1990b). Behavior of asphalt pavements in circular road tests and its analysis with special emphasis on slag base-courses. Memoirs of Faculty of Engng., Kobe Univ., No. 37, pp. 1-23.
- (9) Nishi, M., Yoshida, N., Tsujimoto, T. and Ohashi, K., 1994. Prediction of rut depth in asphalt pavements. Proceedings of 4th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Vol. 2, pp.1007-1019.
- (10) 西 勝, 辻本敏治,山縣正明,永井哲夫,1994.
 アスファルト舗装における路盤噴泥現象について.
 土木学会関西支部年次学術講演会第5部門,pp.
 V-26-1~V-26-2.
- (11) 西 勝,遠山俊一,大橋一公,永井哲夫,1995.
 土要素試験装置を用いた路盤の水浸劣化機構に関する研究.土木学会関西支部年次学術講演会第5部門, pp. V-27-1~V-27-2.

DETERIORATION AND SETTLEMENT OF CRUSHED STONE BASE-COURSE DUE TO REPEATED LOADING UNDER WATER PENETRATION IN MODEL TEST

Nobuyuki YOSHIDA, Masaru NISHI, Masanori SANO and Takeshi ARAI

When evaluating rut depth of on-service asphalt pavement with surface cracks, it appears important to take into account the deterioration of base-course material due to repeated loading under water penetration through the surface cracks. This paper presents the results of the model test of repeated loading on crushed stone base-course under water penetration, and discusses the development of settlement and excess pore water pressure and also the formation of softened and deteriorated zone due to finer particles migration during repeated loading.