

V—16 セメント安定処理路盤材料の疲労特性について

北海道大学工学部 学生員 小野田一也

北海道大学工学部 正会員 小笠幸雄

北海道大学工学部 正会員 菅原照雄

1. まえがき

現地材料、またはこれに補足材料を加えたものにセメントを添加して処理する工法に、セメント安定処理工法がある。当工法は材料の強度を増し、含水量の変化による強度の低下を防ぎ、耐久性を増すという特徴があり¹⁾現在我国の高速道路をはじめ多くの道路の下層路盤並びに上層路盤として使用されている。

一方、最近の交通量の急激な増大と車面の大型化により、既設舗装の構造並びに材料は徐々に疲労し、その寿命が懸念されている。セメント安定処理路盤を施工した道路もその例外ではない。

本報告では、圧裂試験法による間接引張により、セメント添加量を変えた4種のセメント安定処理路盤材料の疲労試験を行なったので、それらの成果について報告する。

2. 試験材料及び試験方法

2-1. 供試体

試験に供した供試体の配合を表一1に、またこれら材料の諸性状を表一2に示す。試験に供した4種の供試体は、粒度分布、含水量及び密度を同一とし、材令7日の一軸圧縮強度を基準としてセメント添加量を4種変化させたものである。

一軸圧縮強度から判断すると、N01は下層路盤材として実用に供されているものに相当し、N02は上層路盤材として実用に供されているものに相当している。また、N03は英国で路盤材料として使用されているリーコンクリートを²⁾N04はリーコンクリートとコンクリートの中間強度のものを想定したものである。

配合設計は、実用に供されている材料に相当するものとするため、アスファルト舗装要綱のセメント安定処理工法の配合設計法に準じて行ない、試験に供した供試体は最大乾燥密度の100%以上が得られるよう、マーシャルランマーで片面21回ずつ突き固めて作製した。作製した供試体の養生は、脱型後21日間、20°Cの水中で養生しその後7日間、45°Cの水中で養生した。

2-2. 試験の方法ならびに解析法³⁾

本試験において行なった圧裂法は、幅と曲率をもたせた載荷板を使用して、円柱状供試体（マーシャル供試体及び現場切取供試体）を直径方向に加圧し、鉛直面に生じる引張応力及び引張ひずみを求める試験法である。載荷装置は、インストロン1350型動的試験装置を用い縦横方向の変形量の測定には、非接触変位計AE C-2525型を用いた。図一1に試験装置の概要を示す。

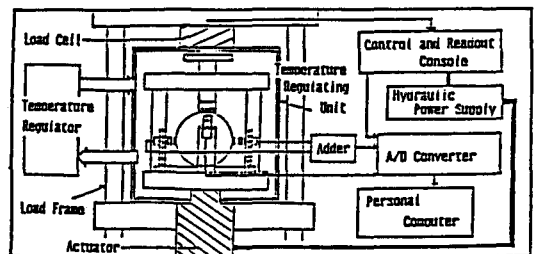
また、表一3に本試験で用いた解析式を示す。

表一1 供試体作製時の配合

フルイ目 mm	20	13	5	2.5	0.6	0.074
通過重量 百分率(%)	100	74	48	37	23	7
密度 g/cm ³	2.42--2.48					
含水量(%)	6.0					
セメント添加量(%)	N01 1.8 N02 2.4 N03 5.8 N04 8.4					

表一2 供試体の諸性状

セメント 4% 添加時		材令 7日の	
最適含水量 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	
7.1	2.241	N01 10 N02 30	N03 80 N04 120



図一1 試験装置の概要

3. 静的載荷試験による引張強度

図-2に載荷速度1mm/minの静的載荷における引張強度の試験結果を示す。図より引張強度とセメント添加量との関係はほぼ比例していることがわかる。

また、当方法によって得られた引張強度は、貧配合材料にもかかわらずバラツキが比較的小さく、またコンクリートの割裂試験を強度の弱い材料に適用した時に起りがちな載荷部付近の圧縮による破壊もないことから、引張応力が生じる舗装構成層の材料評価には適した試験法と考えられる。

4. 動的載荷試験による変形係数の測定

荷重制御、正弦波における動的載荷による変形係数の測定結果を図-3に示す。載荷周波数は10Hzとし載荷時に生じる水平方向引張応力のレベルは、静的載荷試験による引張強度の1/2とした。また供試体と載荷板の密着を良くするためのプレロードは、応力制御の疲労試験で100万回載荷で破壊する荷重で3000回とした。

図より下層路盤及び上層路盤に使用されているような貧配合のセメント安定処理路盤材料でも、その初期変形係数は他の舗装構成材料に比べてかなり大きい値を示していることがわかる。

また、この結果は過去の研究例にみられる屋外試験土槽中のセメント安定処理路盤の変形係数と近似した値となっているようである。⁴⁾

5. 疲労破壊試験

荷重制御方式、正弦波、載荷周波数10Hzで疲労試験を行い、載荷引張応力のレベルを変化させて疲労破壊回数を求めた。

5-1. 疲労破壊の形態及び定義

載荷回数の増加に伴う、垂直、水平変形量及びひずみの増加割合、また変形係数の低下形態（疲労破壊形態）は各配合ごとに若干異なった。図-4に代表的な変形係数の低下形態を示す。

破壊形態Aはコンクリートやアスファルト混合物の疲労破壊のように、変形係数が載荷回数の増加に伴い徐々に低下し、ある載荷回数より急速に低下する形態である。変形係数が急速に低下し始めると間もなく、供試体中心の鉛直面にヘアクラックが生じ、その後破壊に至る。セメント添加量の多いN03, N04の配合はほとんどこの疲労破壊形態を示した。

破壊形態Bは載荷の初期から変形係数が徐々に低下

表-3 本試験で用いた解析式

静的載荷試験及び疲労破壊試験の解析式

$$E = P/tX(0.2692 + 1.0V) \quad V = (0.1346DR - 1.7346)/(-0.5DR - 0.0350) \\ G = 0.06146P/t \quad E = X(0.0304 + 0.0937V)/(0.1346 + 0.5V)$$

動的載荷により変形係数を求める解析式

$$E = P/tX(0.2596 + 1.0V) \quad V = (0.1296DR - 1.3766)/(-0.5DR - 0.0633) \\ G = 0.05866P/t \quad E = X(0.0290 + 0.0922V)/(0.1296 + 0.5V)$$

(各定数については参考文献3)を参照)

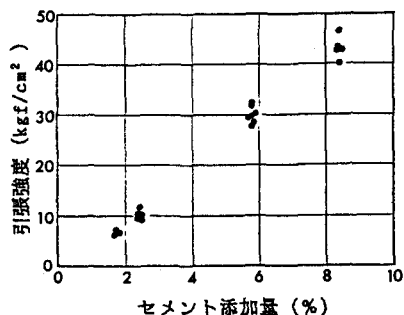


図-2 静的載荷試験による引張強度

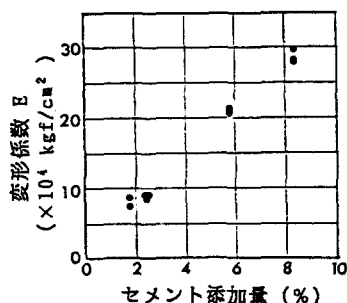


図-3 変形係数の測定結果

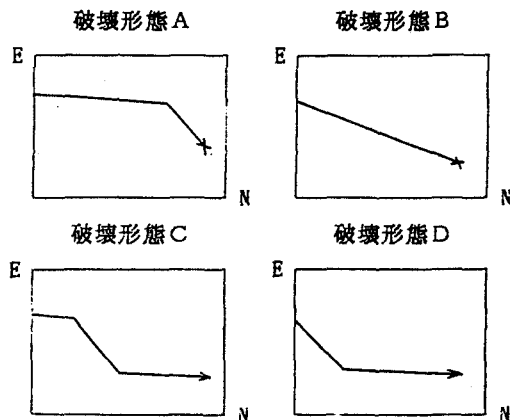


図-4 疲労破壊形態

し、ある載荷回数で供試体中心の鉛直面にヘアクラックが生じ、その後破壊に至るものであり、NO 3の配合の極一部にみられた。

破壊形態Cは載荷初期に変形係数が小さい低下割合で徐々に低下し、その後低下割合が若干大きくなるものの再び低下割合が小さくなるという形態である。再び低下割合が小さくなるのは、供試体上下部の鉛直面は圧縮応力が生じ、その圧縮応力に供試体が抵抗していること及び供試体中心付近の石の影響と考えられる。破壊形態Cをとるのは、セメント添加量の少ないNO1 及びNO2 の配合の中で応力比（載荷引張応力／引張強度）の小さいものに多くみられた。

破壊形態Dは載荷の初期から変形係数が急速に低下し、ある載荷回数以上になるとほとんど変形係数が低下しないという形態である。破壊形態Dをとるのは、NO1 及びNO2 の配合の中に多くみられ当材料が疲労抵抗性と呼ばれるものを持つかどうかの判断は困難である。

以上のA、B、C、Dの疲労破壊の形態より破壊の定義は、変形係数が初期変形係数の 9割まで低下したときとした。

5-2. 疲労破壊曲線

図-5に、載荷引張応力と疲労破壊回数の関係を示す。各配合とも両対数紙上で直線的な関係が得られ、セメント添加量が多くなるほど上部に位置し、直線の勾配は小さくなっている。

これらの結果より次のことが言える。

- (1)疲労破壊回数に及ぼすセメント添加量の影響は非常に大きい。
 - (2)セメント添加量の少ない貧配合のセメント安定処理路盤材料は引張応力にたいする疲労抵抗性がきわめて小さい。
- なお、載荷引張応力と疲労破壊回数の関係式を図-5中に、その関係式の比較を図-6に示した。

5-3. 変形係数と疲労破壊回数の関係

x 軸に疲労破壊回数、y 軸に載荷引張応力、z 軸に変形係数をとると図-7のようになる。図より疲労破壊回数すなわち疲労抵抗性は、載荷引張応力を一定とすると、材料の変形係数に密接に関係していることがわかる。

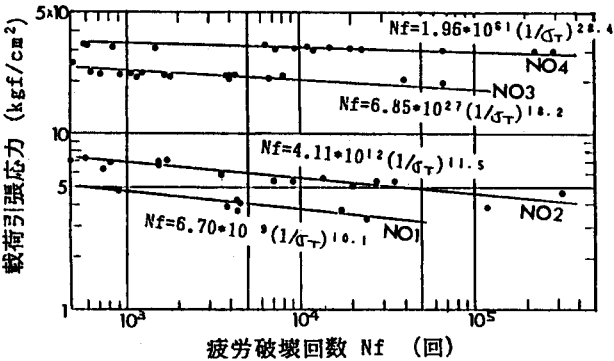


図-5 載荷引張応力と疲労破壊回数の関係

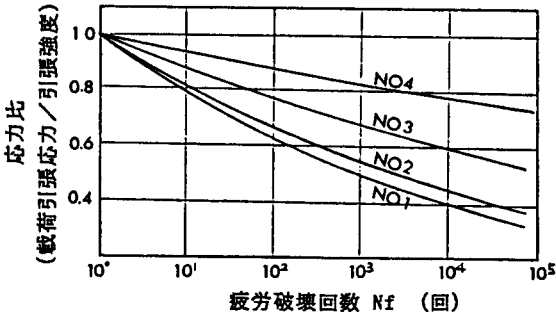


図-6 疲労破壊曲線

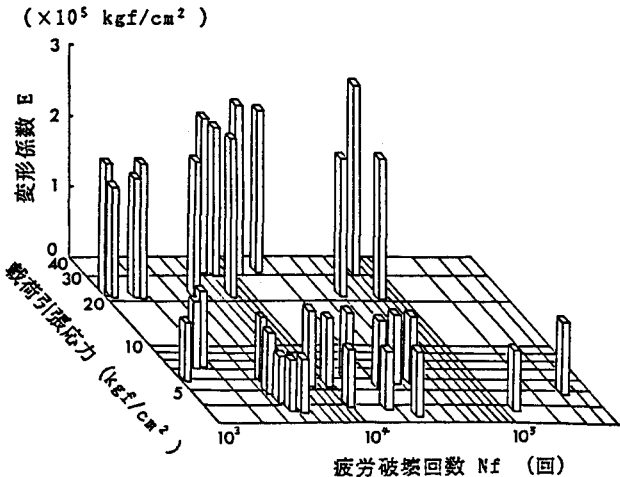


図-7 変形係数と疲労破壊回数の関係

6. 結 論

本報告で明らかにされた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 圧裂法はセメント安定処理路盤材料のような貧配合材料においても、引張強度を比較的精度良く評価することができ、引張応力が生じる舗装構成層の材料評価には、適した試験法と考えられる。
- (2) セメント安定処理路盤材料の初期変形係数は、本実験の条件下において、下層路盤材に相当するものは約 $80,000 \text{ kgf/cm}^2$ 、上層路盤材に相当するものは約 $90,000 \text{ kgf/cm}^2$ 、リーコンクリートに相当するものは約 $210,000 \text{ kgf/cm}^2$ 、リーコンクリートとコンクリートの中間強度のものは約 $280,000 \text{ kgf/cm}^2$ であることがわかった。なお、下層路盤及び上層路盤に相当するものの値はセメント安定処理路盤の舗装構成層としての変形係数と近似した値となっているようである。
- (3) 各配合の材料とも疲労破壊回数と載荷引張応力の関係は、両対数紙上で直線になる。
- (4) 疲労破壊回数に及ぼすセメント添加量の影響は非常に大きい。
- (5) 下層路盤及び上層路盤に使用されているような貧配合のセメント安定処理路盤材料の疲労破壊の形態は、コンクリートやアスファルト混合物が示す、通常の疲労破壊の形態と若干異なった形態を示し、これらは引張応力にたいする疲労抵抗性がきわめて小さい。
- (6) 疲労抵抗性は変形係数と密接に関係している。

7. あとがき

舗装の構造設計並びに維持管理において、使用材料並びに舗装構造の疲労寿命を的確に評価診断することは、非常に意義深いことである。このような中で、引張応力による破壊が問題になる舗装構成材料の疲労特性に関しては、当手法により簡単に精度よく測定できることが明らかになった。また、当手法の測定結果は舗装の層構造解析において重要な入力条件となる、弾性係数やポアソン比の大きな目安になり、今後、層構造解析による評価と考え合わせながら舗装構造の寿命予測や新しい材料の舗装材への適否判定等に、大きな力を発揮していくものと考えられる。

最後に、近い将来これらの評価が舗装表面のパフォーマンスとの関連づけがなされ PMS (Pavement Management System) に、組み込まれて行くことを希望したい。

参考文献

- 1) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱、昭和54年度版
- 2) The Design and Performance of Road Pavements, Transport and Road Research Laboratory
- 3) 菅原、山田、上島、：圧裂試験法によるアスファルト混合物の力学性状、土木学会第40回年次学術講演会講演概要集 第5部、1985.9
- 4) 住友、川島、：セメント安定処理路盤の荷重分散効果（アスファルト舗装）について、土木学会論文集 第355号/vi-2、1985.3