

環境を考慮した透水性舗装に関する研究

Research Regarding on the Permeable Pavement that Considered the Environment

高橋友美†, 建部英博††

Tomomi TAKAHASHI, Hidehiro TATEBE

Abstract In recently, drainage pavement has come to be adopted as a traffic accident object. However, if permeable pavement is attained, it will become possible to make it useful to plus of groundwater and a flood of the river by local severe rain and prevention of a heat island phenomenon. On the other hand, importance is attached also to the problem of industrial waste. And the necessity for recycling of construction waste is also cried for. In this research, construction waste was used instead of filler used for the surface course and base course. It is waste gypsum recycled from the gypsum board, and examined the possibility of the use. It examined the alkalization preventive measure at the time of using a granulated slag about a subgrade and subbase course. Furthermore, the summer of the permeable pavement using these is measured and the possibility of utilization of permeable pavement is examined.

1. 序論

1-1 はじめに

道路には通常舗装, 排水性舗装が用いられてきた。これらの舗装は, 雨水を側溝から河川へと流している。しかし, 集中豪雨が発生すると河川は氾濫を起こしてしまう。この対策として下水管を大きくするなどの方法があるが, ここで透水性舗装を用いると総雨量 500mm 程度の降雨量ならば舗装体内で保水することができるため, 河川の氾濫抑制, 下水費用の軽減が可能になる。また, 夏期温度の低下も期待できる。

1-2 透水性舗装

透水性舗装¹⁾は, 今までの舗装技術とは逆の発想により, 雨水を表層・基層から路盤・路床に保水, 浸透する構造となっており, 雨水を蒸発散させることが可能である。しかし, 雨水を路盤・路床へ浸透させるため強度低下を起し, 輪荷重に対して十分な強度が得られなくなることが懸念されるため, 従来は車道に用いられていない。舗装概略図を図 1 に示す。

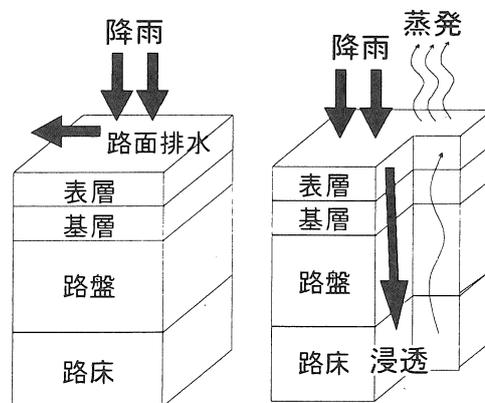


図 1 舗装概略図

1-3 過去の研究

透水性舗装の路盤・路床に水砕スラグ¹⁾を使用し, アルカリ性刺激剤として生石灰, 消石灰, ローラミルを添加すると潜在水硬性を發揮し十分な強度を得られ, また透水性も有することから, 水の浸透による強度低下を解消することができた。しかし, 路盤・路床を通過した水はアルカリ性となって地中に浸透し, 街路樹や生物などに悪影響を与えることが懸念される。そこで, アルカリ性の原因として考えられた生石灰を若干 pH 値の低い消石灰に代えたが, 期待される効果が見られなかった。このため, 水砕スラグを微粉碎したアルカリ度の低いロー

† 愛知工業大学大学院 建設システム工学専攻

†† 愛知工業大学 工学部 土木工学科

ラミルだけを使用し強度を調べたところ、ローラミルだけでは強度が得られなかった。しかし、水和反応を促進させる石膏³⁾を添加したところ、大きな効果が見られた。

1-4 研究目的

近年,リサイクル問題が取り上げられている。そこで,本研究では廃材を利用して透水性舗装ができるかどうか過去の研究で得られた結果をもとに,石膏は建設廃材である石膏ボードから再生した廃石膏を使用し,アスファルト混合物で用いられる石粉の代わりとして廃石膏を使用できるか検討した。更に,アスファルト混合物にカイノール繊維を添加することで曲げ変形による引張りに強くなるか検討した。

また,透水性舗装の利点として挙げられる夏期温度の低下について温度測定をし,通常舗装と透水性舗装を比較・検討した。

2. 表層・基層の力学的,物理的評価

2-1 使用材料

骨材は,粒径 13mm 以下のものを使用し,アスファルト舗装要綱⁴⁾に定められる排水性舗装や透水性舗装に使用される開粒度アスファルト混合物の標準配合を用い,アスファルトには耐流動性に優れた改質アスファルト II 型を使用した。表 1 に骨材の標準配合を示す。

表 1 骨材の標準配合

骨材粒径(mm)	骨材配合比(%)
13.2~9.5	58.5
9.5~4.75	21.0
4.75~2.36	5.0
2.36~0.6	5.0
0.6~0.3	3.0
0.3~0.15	2.0
0.15~0.074	1.0
0.074以下	4.5

骨材粒径 0.074mm 以下に,廃石膏を使用し,通常骨材と比較・検討した。また,通常骨材にカイノール繊維を添加し,比較・検討した。表 2 にカイノール繊維の特性を示す。

表 2 カイノール繊維の特性

色	ゴールド
繊維径	14~33 μm
繊維長	1~70mm
比重	1.27

2-2 マーシャル安定度試験

アスファルト混合物の力学的性状を求めるものであり,試験室での配合設計や現場での品質管理等に用いられている。本研究では過去の研究より,アスファルト量 3.5% を一定⁵⁾とし実験を行った。

開粒度アスファルト混合物のアスファルト舗装要綱に定められた車道適用時の基準値を表 3 に示す。

表 3 開粒度アスファルト混合物の基準値

項目	締固め回数	基準値
安定度	50回(B交通以下)	4.9kN以上
	75回(C交通以上)	7.35kN以上
空隙率		15%以上

通常骨材に繊維を 0.05%, 0.06%, 0.07% と添加し,マーシャル安定度試験を行った。繊維は 3 層に分けて添加した。概略図を図 2 に,試験結果を図 3, 図 4 に示す。

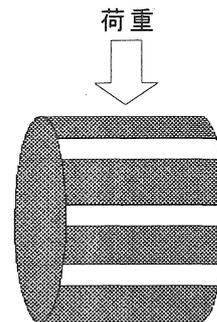


図 2 供試体概略図

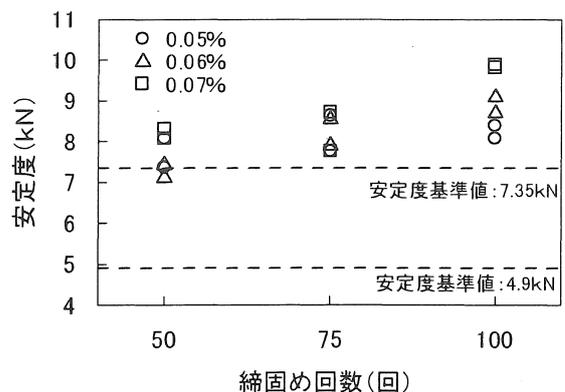


図 3 安定度(繊維+通常骨材)

図 3 より,締固め回数が増加すると安定度も高くなり,0.07% が最も高い値となった。全ての供試体に関しても基準値を満たすことができた。締固め回数 50 回については, B 交通以下の基準値 4.9kN を大幅に上回る値となった。

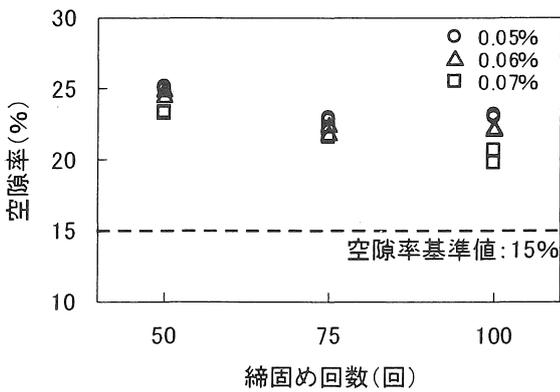


図4 空隙率（繊維添加）

図4より、空隙率について、全ての供試体に関して基準値を満たすことができた。

以上のことから、通常骨材に繊維を0.07%添加し、通常骨材と廃石膏の安定度、空隙率を比較した。試験結果を図5、図6に示す。

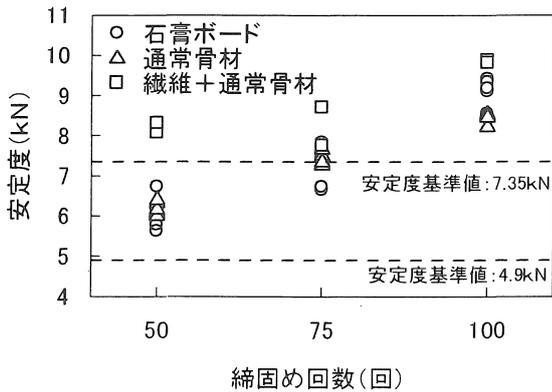


図5 安定度（通常骨材，廃石膏，繊維）

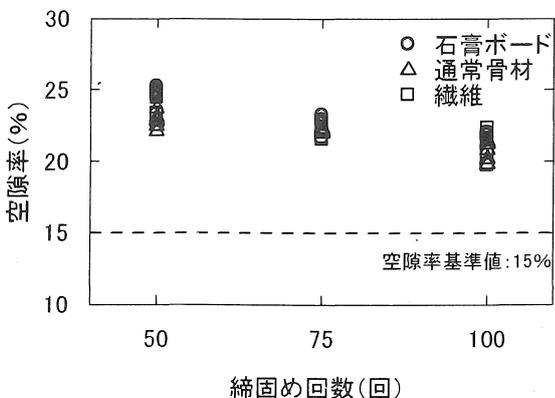


図6 空隙率（通常骨材，廃石膏，繊維）

図5より、繊維を添加した供試体と同様に、通常骨材、廃石膏の供試体についても締固め回数が増加すると安定

度も高くなった。しかし、締固め回数75回に関して、通常骨材、廃石膏の供試体はC交通以上の基準値7.35kNを満たすことができなかった。

図6より、空隙率では、締固め回数が増加するにあたって、密度が小さくなっていき、全ての供試体に関して基準値を満たし、ほぼ同等の値を得ることができた。

以上のことから、通常骨材、廃石膏の供試体はB交通以下に耐えられ、全ての締固め回数で基準値を満たすことができた繊維添加の供試体は、C交通以上に耐えられると考えられる。

2.4 恒圧試験

アスファルト混合物は、恒圧荷重に対して追従変形を起こしやすく、それが目潰れ発生の原因の一つであると考えられる。そこで、通常骨材、廃石膏、繊維添加の供試体それぞれについて5t輪荷重を想定した0.54Mpaの圧力を長時間載荷し、その変形量を測定することで目潰れに対する抵抗性を検討した。供試体の大きさは、長さ30cm、高さ5cm、幅30cmとし、試験温度を20°Cとした。試験概略図を図7に、試験結果を図8に示す。

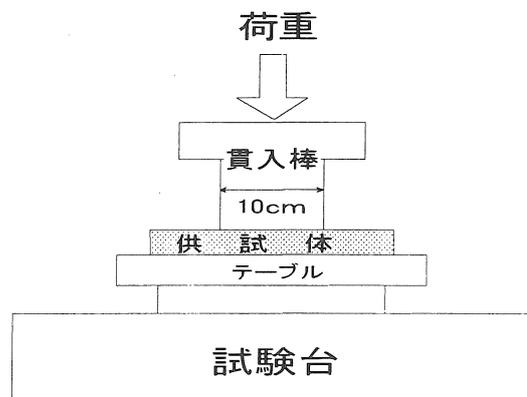


図7 試験概略図

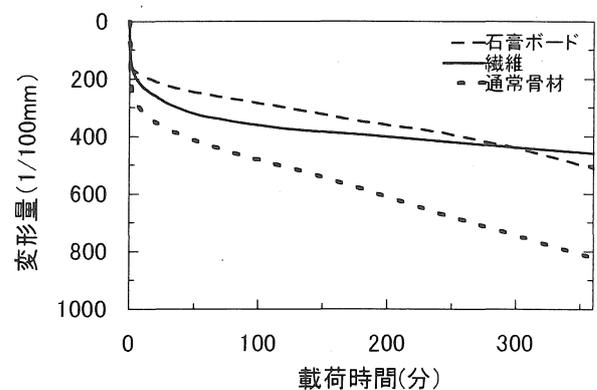


図8 恒圧試験結果

図8より、測定開始直後は全ての供試体とも急激に変

形するが、経過時間とともに緩やかに変形していった。通常供試体に比べ廃石膏、繊維添加の供試体の変形量が約半分の 4mm 程度小さくなった。また、始めのうちは、廃石膏の供試体が最も変形量が小さかったが、5 時間を過ぎると繊維添加の供試体が最も変形量が小さくなった。しかし、0.5mm 程度の差であった。

2.5 曲げ試験

実際に透水性舗装が車道に施工された場合、通行荷重による圧縮の力だけではなく舗装のたわみによる曲げ引張りの力も受けるので、曲げ試験を行った。供試体温度を 20℃とし、載荷速度を 1.0, 3.0, 5.0, 15.0mm/min と変化させ、繊維を添加することで曲げに対する抵抗性の変化を検討した。試験概略図を図 9 に、試験結果を図 10 に示す。

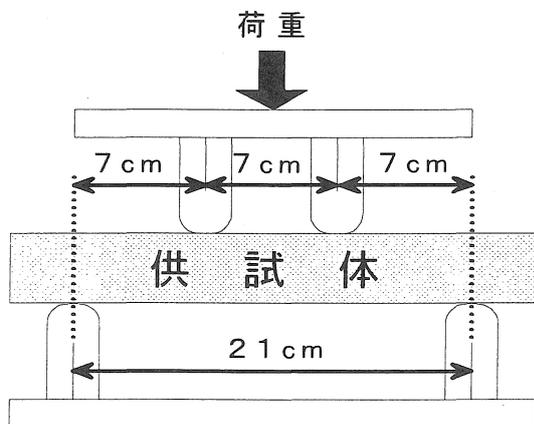


図 9 試験概略図

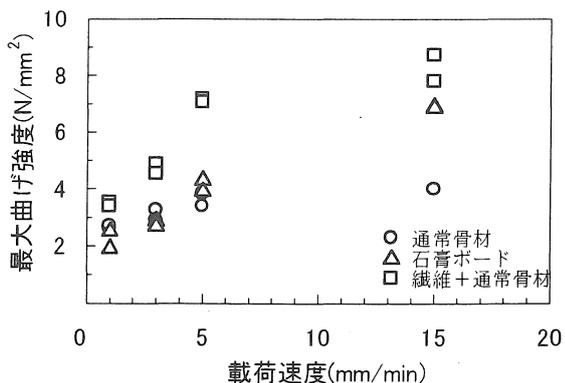


図 10 曲げ試験結果

図 10 より、載荷速度により最大曲げ強度は大きく異なるが、載荷速度が増加すると最大曲げ強度も高くなるのが全ての供試体においていえる。

繊維添加の供試体については、通常骨材の供試体に比べ、1.3~2 倍程度強度が高くなった。

2.6 まとめ

マーシャル安定度試験では、繊維を添加することによって基準値を満たし、C 交通以上にも耐えられると考えられる。恒圧試験では、通常骨材の供試体に比べ、廃石膏と繊維添加の供試体は変形量が小さくなった。曲げ試験での強度は、載荷速度 15mm/min 以外で、通常骨材と廃石膏の供試体でほぼ同等の値となった。また、他の供試体に比べて繊維添加の供試体は、高めの値となった。

3. 路盤・路床の力学的、物理的評価

3.1 使用材料

鉄銑を製造する際に副産物として生成される水砕スラグ、水砕スラグを微粉砕したローラミル、石膏を路盤・路床に使用してきたが、石膏の代わりに建設廃材である石膏ボードから再生した廃石膏を使用した。

3.2 pH 試験

水砕スラグを使用した透水性舗装は、路盤・路床を通過した水がアルカリ性刺激剤によりアルカリ性になると考えられる。そこで、アルカリ性刺激剤として使用する材料について pH 値を知る必要がある。水砕スラグ、ローラミル、消石灰、生石灰、廃石膏をそれぞれ 1g の水に 0.5g ずつ混入し、質量の変化における pH 値の変化を測定した。試験結果を図 11 に示す。

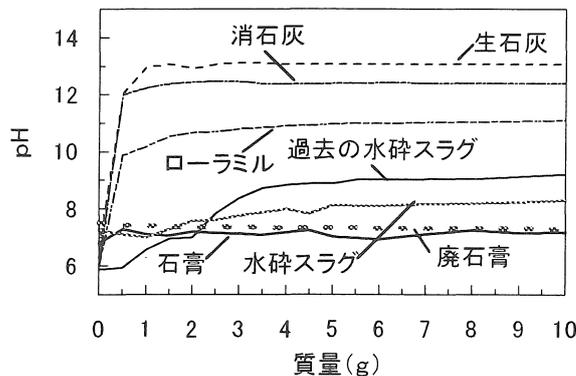


図 11 各材料の質量変化における pH 曲線

図 11 より、生石灰は pH 値が高く、供試体を通過した水がアルカリ性となる原因と考えられる。また、廃石膏は中性である pH7.3 と一定の値を得たので、これを石膏の代わりに使用できると考えられる。

3.3 CBR 試験

過去の研究結果をもとに石膏を廃石膏に代え、3 層 42 回突き、空中 7 日養生、含水比 11% で CBR 試験を行い、比較・検討した。試験結果を表 4 に示す。

表4 配合比 (%) と CBR 値 (%)

水砕スラグ	ローラミル	石膏	廃石膏	CBR値
94	5	1	0	104
93	5	2	0	103
※94	5	0	1	115
※93	5	0	2	102

表4より、石膏を建設廃材である石膏ボードから再生した廃石膏に変化させても CBR 値に大きな差がなかったため、廃石膏を使用することができると考えられる。そこで、※印の配合について通水試験を行った。

3-4 通水試験

CBR 試験で強度の得られた※印の配合について、含水比 11%、2層 38回突きで 7.5cm の厚さに締固めたものを 14 日空中養生し、水を通過させ pH 値を測定した。環境に影響を及ぼさない pH5.8~pH8.6¹⁾ になるための通過流量を調べ、過去の研究結果と比較・検討した。試験装置概略図を図 12 に、過去の試験結果を図 13 に示し、図 14、図 15 に試験結果を示す。

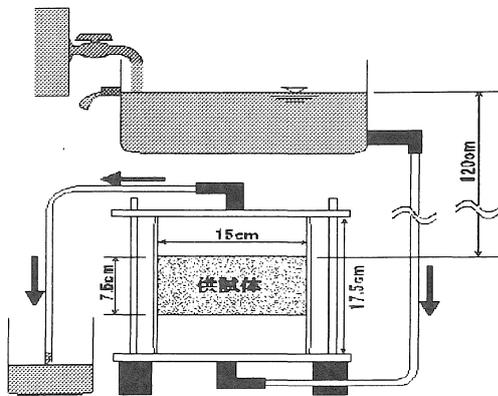


図 12 通水試験装置概略図

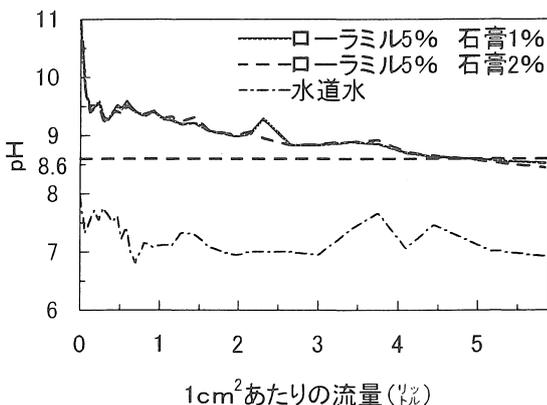


図 13 過去の通水試験結果

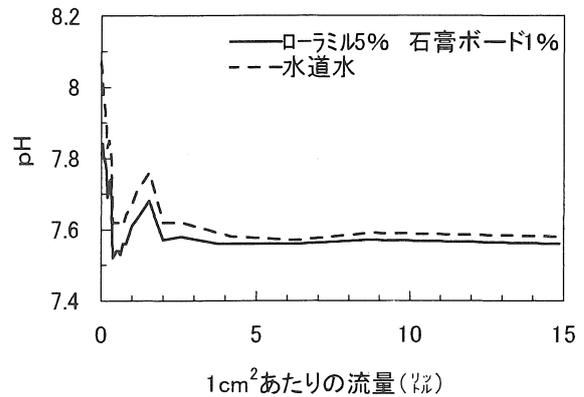


図 14 通水試験結果

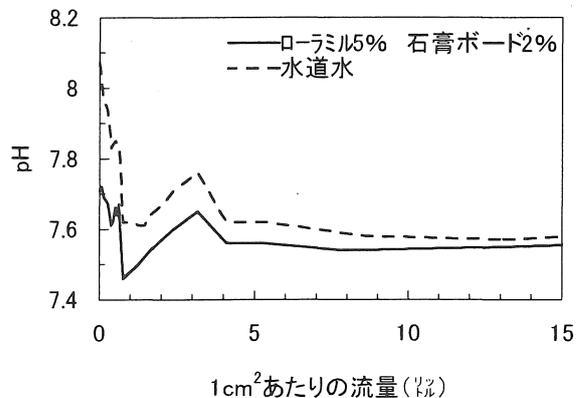


図 15 通水試験結果

図 13 より、過去の研究で行われた、水砕スラグ：ローラミル：石膏=94：5：1の配合と、水砕スラグ：ローラミル：石膏=93：5：2の配合では、ともに通水開始時の pH 値が約 pH11 となり、pH8.6 以下になるために約 5 ㍓の水を要したが、図 14、図 15 より、廃石膏を用いた配合では、通水開始時の pH 値が、pH7.8、pH7.7 と目標値の pH8.6 以下となった。通水開始時の pH 値に差が現れたのは、pH 試験の結果で得られた過去に使用された水砕スラグの pH 値が約 pH11 と今回使用した水砕スラグの pH 値が約 pH9 と約 pH2 違ったことが要因だと考えられる。そこで、若干 pH 値の低かった、水砕スラグ：ローラミル：廃石膏=93：5：2の配合を使用して、養生日数を変化させ、強度を調べた。

3-5 強度特性

供試体は全て、配合を、水砕スラグ：ローラミル：廃石膏=93：5：2とし、含水比 11%、3層 42回突きで作製したものを使用する。図 16 に CBR 試験装置概略図を示し、試験結果を比較するため、過去の試験結果を図 17 に示す。

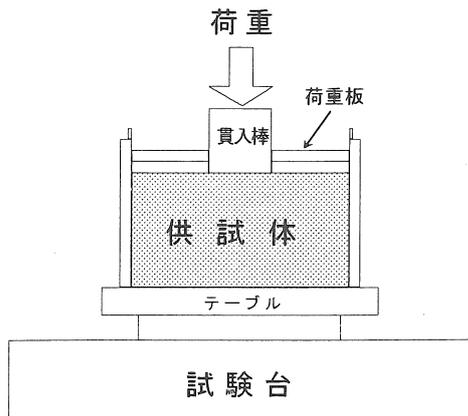


図 16 CBR 試験装置概略図

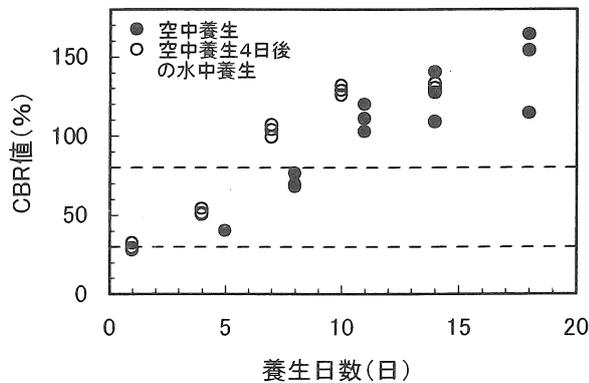


図 17 過去の養生日数別 CBR 値 (%)

14 日養生で強度の変化があまり見られなくなったため、ほぼ反応が終わったと考えられる。

3・5・2 水中養生

上記の実験より、4 日空中養生で下層路盤の規定値 30%を満たしたことをもとに、実際に雨水が浸透したことを想定し、4 日空中養生後の水中養生日数を変え、強度変化を調べた。試験結果を図 19 に示す。

図 19 より、空中養生に比べ、強度は劣るものの、空中 4 日、水中 4 日養生で下層路盤の規定値 30%をみたした。空中 4 日、水中 7 日養生で上層路盤の規定 80%を満たし、空中 4 日、水中 14 日養生では、空中 14 日養生とほぼ同等の値が得られた。

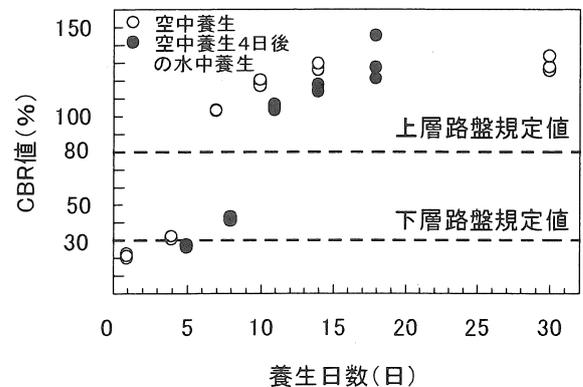


図 19 養生日数別 CBR 値 (%)

3・5・1 空中養生

水砕スラグ：ローラミル：廃石膏＝93：5：2の配合について空中養生日数を変え、強度変化を調べた。試験結果を図 18 に示す。

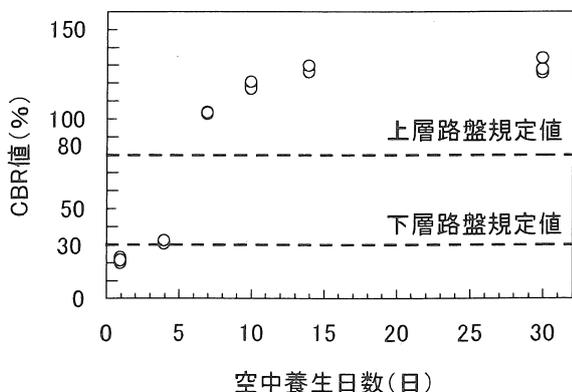


図 18 空中養生日数別 CBR 値 (%)

図 18 より、4 日空中養生で、アスファルト舗装要綱に記載される下層路盤の規定値、修正 CBR 値 30%を満たした。7 日以上を養生を行うと上層路盤の規定値 80%を満たし、

3・6 まとめ

強度に関しては、過去の研究に比べてもほぼ同等の値を得ることができた。通水試験においては、通水開始時の pH 値が pH8.6 以下となり、大きな差が表れた。以上のことから、石膏を建設廃材である石膏ボードから再生した廃石膏に代えても強度、pH 値に問題がないため、廃石膏を使用することができると考えられる。

4. 夏期温度測定

ヒートアイランド現象¹⁾を抑制する方法の一つとして、透水性舗装内に保水された水の蒸発により舗装の温度低下が期待できるかどうか、降雨後、実際に試験舗装²⁾されている道路(半田市)と過去の研究で作製された模型舗装で温度測定を行い、通常舗装と透水性舗装の比較を行った。

4・1 模型舗装による温度測定

図 20、表 5 は、8 月 2 日の降雨(雨量約 2mm/day)後、模型の表面温度を熱電対を用い測定した結果である。透水性舗装は、通常舗装より温度が低くなった。通常舗装

の最高温度 61.4°C に比べ、透水性舗装の最高温度は 51.8°C となり、9.6°C の差が見られた。

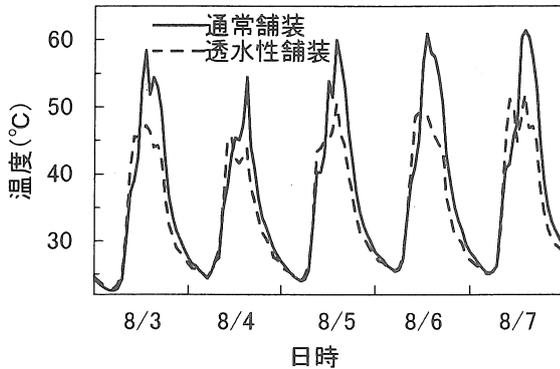


図 20 模型舗装による温度変化

表 5 模型舗装による温度 (°C)

日時	通常舗装	透水性舗装	差
8月3日	58.4	47.2	11.2
8月4日	54.4	43.8	10.6
8月5日	59.9	50.4	9.5
8月6日	60.9	48.8	12.1
8月7日	61.4	51.8	9.6

4-2 半田市試験舗装による温度測定

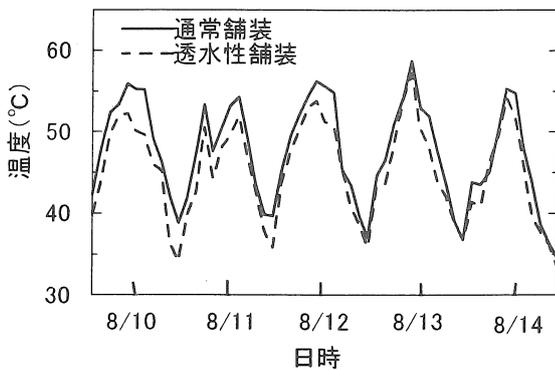


図 21 半田市試験舗装による温度変化

表 6 半田市試験舗装による温度 (°C)

日時	通常舗装	透水性舗装	差
8月10日	55.9	52.2	3.7
8月11日	54.3	51.9	2.4
8月12日	56.2	53.8	2.4
8月13日	58.7	57.2	1.5
8月14日	55.3	54.1	1.2

図 21、表 6 は、8月9日の降雨（雨量約 3mm/day）後、半田市にある試験舗装での表面温度を測定した結果である。模型舗装と同様に、通常舗装に比べ、透水性舗装の方が温度が低かった。通常舗装の最高温度 58.7°C に比べ、透水性舗装の最高温度は 57.2°C と 1.5°C の差が見られた。

4-3 まとめ

模型舗装に比べ試験舗装の温度差が少なかったのは、試験舗装が古くて、保水能力が低下しているからである。しかし、温度低下が見られたことから、透水性舗装に保水された水の蒸発による温度低下の効果があったと考えられる。

5. 結論

- 1) 表層・基層については、建設廃材である石膏ボードから再生した廃石膏を使用した供試体は、通常骨材の供試体に比べ、安定度、曲げ強度においてほぼ同等の値を得ることができ、恒圧荷重に対する変形量は大きく減少できたことから、通常骨材よりも 0.074mm 以下の代わりに廃石膏を使用した方が良い結果となった。
また、通常骨材に繊維を添加した供試体については、安定度、曲げ強度、恒圧荷重に対する変形量において通常骨材よりも良い結果を得ることができたことから、繊維を添加することが有効だと考えられる。
- 2) 路盤・路床については、石膏の代わりに建設廃材である石膏ボードから再生した廃石膏を使用しても強度に関して規定値を十分に満たし、pH 値においても環境に影響を及ぼさない pH8.6 を下回っていることから、石膏よりも廃石膏の方が良い結果となった。
- 3) 模型舗装でも試験舗装でも、通常舗装より透水性舗装の方が温度低下が見られたことにより、透水性舗装は、ヒートアイランド現象を抑制することが期待できると考えられる。

参考文献

- 1) 水と舗装を考える会：よくわかる透水性舗装，山海堂，東京，1997.
- 2) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用について，東京，1987.
- 3) 社団法人セメント協会：セメント化学雑論，pp43-44，東京，1985.
- 4) 社団法人日本道路協会：アスファルト舗装要綱，

丸善株式会社出版事業部,東京,1994.

- 5) 川口基広,建部英博:ステンレス繊維入り透水性舗装の強度特性について,平成7年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集,pp689-690,1996.
- 6) 山田真吾,建部英博:水砕スラグを利用した透水性舗装のアルカリ化防止対策について,平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集,pp573-574,2000.
- 7) 地球環境データブック編集委員会:ひと目でわかる地球環境データブック,p117,株式会社オーム社,東京,1994.

- 8) 太平工業株式会社名古屋支店:全断面透水性舗装調査報告書
- 9) 川口大輔,建部英博:ステンレス繊維入り透水性舗装の強度特性について,平成11年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集,pp571-572,2000.
- 10) 山田真吾,建部英博:水砕スラグを利用した透水性舗装のアルカリ化抑制に関する実験的研究,愛知工業大学研究報告,第36号B,pp141-149,2001

(受理 平成15年3月19日)