

骨材資源を有効活用した  
舗装用コンクリートの  
耐久性確保に関する共同研究報告書

- I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性  
(4) 舗装コンクリートの曲げ疲労試験

2016年3月

国立研究開発法人土木研究所  
学校法人東京農業大学  
一般社団法人セメント協会  
太平洋セメント株式会社  
日本道路株式会社

Copyright © (2016) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# 骨材資源を有効活用した 舗装用コンクリートの 耐久性確保に関する共同研究報告書

## I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性

### (4) 舗装コンクリートの曲げ疲労試験

材料資源研究グループ	グループ長 上席研究員 総括主任研究員 研究員 交流研究員	渡辺 博志 古賀 裕久 森濱 和正 加藤 祐哉 勝畑 敏幸*
東京農業大学 (一社)セメント協会	教授 舗装技術専門委員会 適用性評価 WG リーダー リーダー サブグループリーダー サブグループリーダー 研究員	小梁川 雅 小林 哲夫 佐藤 智泰 吉本 徹 島崎 泰 瀧波 勇人
太平洋セメント(株)	リーダー 主任研究員	梶尾 聡 石田 征男
日本道路(株)	室長 主任研究員 副主任研究員	中原 大磯 加藤 学 常松 直志

#### 要 旨 :

コンクリート舗装は、耐久性が高くライフサイクルコストが低減できるため、普及が期待されている。一方、コンクリートの主要材料である粗骨材は、天然砂利が減少し、砕石や石灰石骨材が増えている。また、産業廃棄物削減を目的に各種スラグ骨材の有効利用が求められるなど、骨材資源が多様化している。そこで、各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性を明らかにし、資源の有効活用をはかることを目的に研究を行なった。

本報告は、各種粗骨材を使用したコンクリートの曲げ疲労試験結果を取りまとめた。

キーワード：舗装コンクリート，石灰石骨材，スラグ骨材，曲げ疲労試験

\* 2014 年 12 月まで交流研究員（元，BASF ジャパン(株)）



## 目 次

1.	まえがき	1
2.	曲げ疲労試験の概要	3
2.1	概要	3
2.2	コンクリートの配合	5
2.3	試験条件	7
2.4	試験結果の整理の方法	8
3.	曲げ疲労試験の結果	10
3.1	骨材種類の影響	10
3.2	粗骨材最大寸法の影響	13
3.3	骨材物性値と疲労特性の関係	17
3.4	既往の疲労試験結果との比較	21
3.5	疲労曲線	25
4.	まとめ	28
5.	関連発表リスト	29
	共同研究参加者名簿	31



## 1. まえがき

我が国の道路舗装に占めるコンクリート舗装のシェアは 5%程度であり、ほとんどはアスファルト舗装である<sup>1)</sup>。しかし、コンクリート舗装は耐久性が高く、ライフサイクルコストがアスファルト舗装よりも低く抑えられるなどの長所もあり<sup>2)</sup>、その普及が期待されている。

コンクリート舗装の普及促進に向けては、根拠が不明確なまま残されている仕様規定を改め、性能規定化を進めることにより、舗装コンクリートの高い耐久性を確保した上で、材料面や施工面での自由度を拡大してゆくことが非常に重要となる。例えば、粗骨材については、最大寸法 (Gmax) と骨材の種類の問題が考えられる。舗装に用いる粗骨材の Gmax は 40mm が一般的である。しかし、最近では Gmax 20mm または 25mm (以下、20/25 と表記) の粗骨材しか有していない生コン工場も多い。また、コンクリートの収縮低減を目的に石灰石の使用が増えてきている。さらに、資源の有効活用の観点からは、スラグ骨材の使用も求められている。今後、コンクリート舗装を普及するには、これらの粗骨材を使用した場合の性能を明らかにし、利用技術を確立することが必要である。

コンクリート舗装では、スランプ 2.5 cm のコンクリートを使用することが多い。このような硬練りコンクリートの運搬にはダンプトラックが用いられるなど、コンクリートの製造・運搬の面で制約を受けるので、アジテータ車が使用可能な範囲で硬練りの検討が必要である。また、コンクリート強度は曲げ強度によって管理されており、供試体が重く、曲げ強度試験用の装置が必要なことなどから、労力が大きいことが課題になっている。

このような背景のもと、骨材に要求される品質を明確にすること、施工、強度管理の合理化を目的として、2012 年度より土木研究所と東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)の 5 機関による共同研究を開始した。

これまでの実験結果を、共同研究報告書 I(1) 第 455 号<sup>3)</sup> (以下、第 1 報という。)、I(2) 第 462 号<sup>4)</sup> (第 2 報)、I(3) 第 477 号<sup>5)</sup> (第 3 報) に取りまとめている。

第 1 報では、実験に使用した各種粗骨材の物性試験結果およびコンクリートの配合試験結果について報告した。配合試験では、一般的な舗装コンクリートである粗骨材の Gmax 40mm、スランプ 2.5cm に対して、Gmax20/25mm、スランプ 5cm とした場合の単位水量、単位粗骨材かさ容積 (以下、かさ容積という) が配合、強度に及ぼす影響などの検討を行なった。

第 2 報では、第 1 報の骨材の物性試験結果に加え、粗骨材自体の簡易凍結融解試験を実施した。舗装コンクリートの耐久性試験については、曲げ強度 6MPa に相当する配合を中心に、各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの凍結融解、乾燥収縮、すり減り、すべり抵抗性などについて検討した。

第 3 報では、骨材の品質と、施工性の改善のため単位粗骨材かさ容積 (細骨材率)、スランプを変化させた場合のフレッシュコンクリートの施工性 (充填性、分離抵抗性、変形性など)、硬化コンクリートの走行安全性 (すり減り抵抗性、すべり抵抗性)、耐久性 (スケーリング抵抗性、乾燥収縮) について検討を行なった。

本報告 (第 4 報) は、繰返し交通荷重や温度応力の作用するコンクリート舗装の耐久性に重要な曲げ疲労特性に関して、岩種や最大寸法の異なる各種粗骨材を使用した場合、曲げ疲労特性に及ぼす影響を検討する

ためにコンクリートの曲げ疲労試験を行なった。その結果について報告する。

## 1章の参考文献

- 1) (社)日本道路協会：コンクリート舗装に関する技術資料、p2、2009.8
- 2) 前掲書 1)、pp.7-12
- 3) (独)土木研究所、東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I(1)、共同研究報告書第 455 号、2014.3
- 4) (独)土木研究所、東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I(2)、共同研究報告書第 462 号、2015.3
- 5) (国研)土木研究所、東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I(3)、共同研究報告書第 477 号、2016.1



## 2. 曲げ疲労試験の概要

### 2.1 概要

コンクリート舗装は、コンクリートに曲げ繰返し荷重が作用する構造物であり、設計においては輪荷重応力と温度応力の繰返し作用に対して照査を行なう。よって、コンクリートの疲労特性は重要な性能の一つである。舗装用コンクリートの疲労特性に関する検討は古くは米国で検討が始まり、日本においても岩間らによる検討<sup>1)</sup>を皮切りに、試験条件やコンクリートの種類<sup>2) 3)</sup>、供試体寸法等<sup>4)</sup>について研究が行なわれてきた。コンクリートに使用する骨材に関しては、粗骨材最大寸法を変えた場合<sup>5)</sup>や再生骨材を使用した場合<sup>6)</sup>の疲労特性への影響について検討が行なわれている。しかし、碎石や砂利といった一般的に使用されている粗骨材の種類が異なった場合の、コンクリートの疲労特性への影響について検討した事例は見当たらない。

よって本検討では、**表 2.1.1** に示す岩種、産地、最大寸法が異なる 14 種類の粗骨材を用いた舗装用コンクリートの曲げ疲労試験を行ない、骨材種類や物性がコンクリートの曲げ疲労特性に及ぼす影響について検討した。

表 2.1.1 骨材種類及び物性一覧

骨材種類	岩種	最大寸法 (mm)	表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	絶乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/L)	実積率 (%)	粗粒率	安定性損失質量 (%)	すりへり減量 (%)	400kN 破砕値 (%)	
A20	砂岩	20	2.68	2.67	0.42	1.61	60.4	6.63	0.1	12.9	7.7	
A40		40	2.68	2.67	0.37	1.62	60.6	7.26	0.6	13.1	8.4	
G25	砂利	25	2.64	2.61	1.32	1.59	61.2	6.83	4.9	14.6	11.2	
G40		40	2.64	2.61	1.20	1.65	63.2	7.41	5.9	17.6	10.5	
LA20	石灰石	20	2.70	2.69	0.41	1.57	58.5	6.63	0.7	24.1	23.0	
LA40		40	2.70	2.69	0.34	1.65	61.2	7.29	1.9	28.5	20.1	
LB20		20	2.71	2.70	0.23	1.68	62.3	7.16	0.6	23.4	20.7	
LB40		40	2.71	2.71	0.21	1.64	60.5	7.37	0.6	27.7	18.9	
LC20		20	2.70	2.69	0.35	1.56	58.1	6.80	1.3	24.3	22.3	
LC40		40	2.70	2.70	0.31	1.59	59.1	7.14	0.6	27.8	17.9	
LD20		20	2.69	2.68	0.54	1.56	58.3	6.70	0.8	23.6	22.9	
LD40		40	2.70	2.68	0.51	1.60	59.7	7.36	0.9	27.2	21.3	
SA20		高炉スラッグ	20	2.54	2.42	4.76	1.40	57.7	6.88	2.7	26.4	25.5
SD20		電気炉酸化スラッグ	20	3.74	3.70	1.00	2.11	57.2	6.86	1.3	14.7	15.0
細骨材	川砂	-	2.57	2.52	2.04	1.70	67.7	2.82	2.2	-	-	

## 2.2 コンクリートの配合

試験に使用したコンクリートの配合は表 2.2.1 に示す、第 1 報にて得られた静的曲げ強度 6.0MPa の配合を用いた。また、疲労試験を実施した試験所は、配合試験を行なった試験所と異なるため、限られた材料でフレッシュ性状を適正に調整することは困難であった。よって、AE 減水剤および AE 剤の添加量を調整して空気量のみ  $4.5 \pm 1.0\%$  に調整し、スランプについては試験結果に及ぼす影響が少ないと考えられたため、目標  $5.0 \pm 1.5\text{cm}$  から外れた場合でもそのまま試験に供した。AE 減水剤はリグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体、AE 剤は変性ロジン化合物系陰イオン界面活性剤（100 倍に希釈）を用いた。

表 2.2.1 配合一覧

粗骨材種類	粗骨材最大寸法 (mm)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	水セメント比	単位粗骨材かさ容積 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
							水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	AE剤 (100倍希釈)
A20	20	5.0	4.5	0.492	0.72	39.6	145	295	729	1158	1.48	1.92
A40	40	5.0	4.5	0.473	0.72	40.4	135	285	758	1166	1.43	1.71
G25	25	5.0	4.5	0.439	0.72	38.3	145	330	695	1148	2.97	2.97
G40	40	5.0	4.5	0.384	0.72	37.7	128	333	698	1185	3.33	5.00
LA20	20	5.0	4.5	0.496	0.72	41.5	145	292	765	1133	1.46	0.58
LA40	40	5.0	4.5	0.462	0.72	39.7	135	292	742	1186	1.46	1.17
LB20	20	5.0	4.5	0.491	0.72	39.0	135	275	735	1210	2.48	1.10
LB40	40	5.0	4.5	0.440	0.72	40.8	128	291	771	1179	1.46	1.46
LC20	20	5.0	4.5	0.512	0.72	42.1	145	283	781	1126	1.13	0.85
LC40	40	5.0	4.5	0.482	0.72	41.9	135	280	789	1148	1.40	1.40
LD20	20	5.0	4.5	0.509	0.72	42.0	145	285	778	1122	1.71	0.86
LD40	40	5.0	4.5	0.478	0.72	41.4	135	282	778	1153	1.41	0.71
SA20	20	5.0	4.5	0.372	0.72	39.8	160	430	673	1006	2.15	4.73
SD20	20	5.0	4.5	0.484	0.72	40.9	160	331	727	1522	2.98	2.98

※単位水量は各混和剤の単位量を含む

## 2.3 試験条件

曲げ疲労試験（以下、疲労試験）の試験条件は、舗装調査・試験法便覧 B070T「コンクリートの曲げ疲労試験方法」を参考に、下記に示す方法で行なった。

供試体寸法は 150×150×530mm、載荷方法は支点間距離 450mm の三等分点載荷とした。応力レベルは 0.9、0.8、0.7 とし、荷重は 5Hz の正弦波により与えた。供試体は 27 本作製し、91 日以上標準水中養生後に試験に供した。使用したコンクリートのフレッシュ性状および静的曲げ強度は表 2.3.1 に示す通りである。スランプは目標より大きく外れた場合も認められたが、空気量は目標とした 4.5% から ±1.0% 以内であった。また、静的曲げ強度の平均値は 6.14MPa であり、ほぼ目標通りとなった。

曲げ疲労試験では最初に静的曲げ試験を行い、そこで得られた静的曲げ強度の 90%、80%、70% に相当する荷重を上限荷重として供試体に繰返し載荷を行なった。また、下限荷重は 2kN (0.27MPa) とした。繰返し載荷によって供試体が破壊しない場合は、繰返し回数 200 万回で試験を打ち切った。

供試体 27 本は、6 本を静的曲げ試験に使用し、疲労試験には応力レベルごとに 6 本ずつ用いた。残り 3 本は予備とし、所定の試験終了後に予備供試体が残存した場合は応力レベル 0.7 の試験を追加実施した。また、供試体の含水状態は曲げ強度に影響し、水中養生後の乾燥は曲げ強度が低下することが既往の研究により示されている<sup>5)</sup>。そのため、試験中に供試体からの水分散逸を防ぐため、グリスとポリエチレンフィルムにより封緘し疲労試験を実施した。試験の様子を写真 2.3.1 に示す。なお、LA40 のみ試験の手違いがあり応力レベル 0.9 を 8 本実施した。

表 2.3.1 フレッシュ性状および曲げ強度

粗骨材 種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (MPa)
A20	4.0	4.4	6.06
A40	6.0	4.3	6.09
G25	4.0	4.6	6.16
G40	7.0	5.1	6.03
LA20	4.5	4.0	6.24
LA40	4.0	4.6	6.03
LB20	7.0	4.0	5.93
LB40	2.0	4.0	6.03
LC20	11.0	4.4	5.98
LC40	8.0	4.2	5.99
LD20	8.5	4.9	6.39
LD40	6.0	4.3	6.22
SA20	8.0	4.4	6.72
SD20	3.9	4.6	6.10

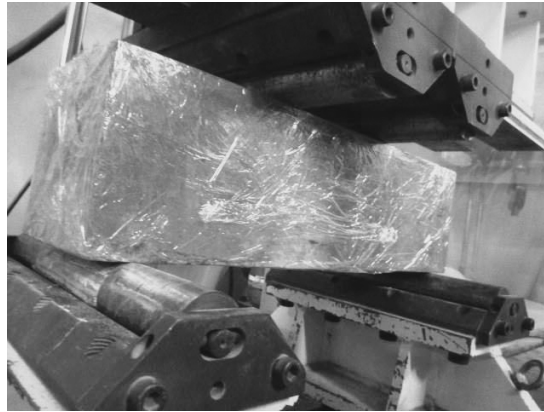


写真 2.3.1 疲労試験の様子

## 2.4 試験結果の整理の方法

疲労試験により得られた応力レベルごとの破壊回数はばらつきが大きいいため、結果は統計的に扱う必要がある<sup>4, 5)</sup>。本検討では、試験水準が多いため各水準の疲労破壊回数の差の有無を多重比較検定 (Tukey 法) により明らかにした。

既往の検討<sup>5)</sup>では、疲労試験結果間の有意差を t 検定を用いて明確にしている。しかし、例えば有意水準 5% の t 検定を独立して 2 回検定を行なうと、2 回とも有意にならない確率は  $1-0.95^2=0.0975$  となる。同様に 10 回検定を行なうと  $1-0.95^{10}=0.4013$  となり、t 検定を繰り返すと組み合わせが多くなる程に誤って有意な組み合わせが出現する確率が大きくなる。よって、本検討では 14 群のデータを応力レベルごとに有意差の検定を行い、また試験数が異なる群があるため、上記の誤差を排除できる多重比較検定のなかでも各群の数が異なっても適用出来る Tukey (Tukey-Kramer) 法を用いた。

また、コンクリート舗装の設計において使用する疲労曲線は文献 5) を参考に下記の方法にて算出した。各破壊回数における破壊確率が順序統計に従うとし、式 2.4.1 および式 2.4.2 により破壊確率を算出した。そしてこの破壊回数と破壊確率が対数正規分布すると仮定し、応力レベルごとに任意の破壊確率における破壊回数を求めた。その結果を式 2.4.3 に示す式の形に整理し疲労曲線式とした。

$$p = \frac{m}{n+1} \quad (\text{打ち切り供試体がない場合}) \quad \text{式2.4.1}$$

$$p = \frac{m}{n+2} \quad (\text{打ち切り供試体がある場合}) \quad \text{式2.4.2}$$

ここに  $m$  : 繰返し载荷回数の昇順の順位

$n$  : 供試体の個数 (打ち切り供試体を含む)

$p$  : 破壊確率

$$S_r = b - a \cdot \log N$$

式2.4.3

ここに  $S_r$  : 応力レベル  
 $N$  : 疲労破壊時の繰返し载荷数  
 $a/b$  : 試験により求まる係数

## 2章の参考文献

- 1) 岩間滋：コンクリート舗装の構造設計に関する実験的研究（3）、土木研究所報告、第117号、pp.1-124、1964.1
- 2) 井上武美、尾本志展：転圧コンクリートの疲労、セメント技術年報、42、pp.543-546、1988
- 3) 伊藤友一、小梁川雅、下村泰造：高強度コンクリートを用いた空港舗装の曲げ疲労特性に関する研究、土木学会舗装工学論文集、第14巻、pp.163-169、2009.12
- 4) 吉本徹、佐藤良一：舗装用コンクリートの曲げ強度と曲げ疲労強度の寸法効果に関する研究、土木学会論文集 E2、Vol67、No.2、pp.181-188、2011
- 5) 小梁川雅、米谷裕、福田正：確率特性を考慮したコンクリート舗装版の曲げ疲労設計曲線、土木学会論文集、No.426、pp.151-157、1991.2
- 6) 小林良太、浜田純夫、加藤康弘：コンクリート再生骨材を使用したコンクリート舗装版の曲げ疲労特性に関する研究、土木学会論文集、No.581、pp.155-160、1997.12

## 3. 曲げ疲労試験の結果

### 3.1 骨材種類の影響

各コンクリートの疲労破壊回数の一覧を**表 3.1.1**に示し、コンクリートに使用した骨材種類間の多重比較検定の結果を**表 3.1.2**～**表 3.1.4**に示す。破壊回数の平均値は各水準にて大きく異なり、応力レベル0.7では数万～100万回に達している。しかし、多重比較検定の結果では応力レベル0.7のLD20と他の水準の間に多くの有意差が認められたものの、これ以外の水準間ではほとんど認められなかった。そして、応力レベル0.8及び0.9では水準間の有意差は認められなかった。また、LD20もLA及びSDとは有意差が認められなかった。以上の結果より、骨材岩種ごとの疲労特性は破壊回数の差は大きいですが、ほぼばらつきの範囲であることが示唆された。



表 3.1.1 疲労破壊繰返し回数一覧

骨材種類	A20	A40	G20	G40	LA20	LA40	LB20	LB40	LC20	LC40	LD20	LD40	SA	SD	
0.9	No.1	352	78	571	429	141	41	582	216	177	177	6	235	577	
	No.2	550	834	1355	967	226	54	1111	232	251	377	709	362	814	
	No.3	718	856	1676	1012	779	315	1457	351	299	722	1203	442	1006	
	No.4	786	897	1907	1357	801	576	1561	672	516	825	1715	520	1132	
	No.5	885	943	3401	4329	887	850	1937	852	585	1452	945	2072	1027	1250
	No.6	1947	6564	3962	6514	18541	930	2172	1200	1198	1804	3670	3105	1038	2418
	No.7					1350									
	No.8					4943									
0.8	平均	873	1695	2145	2435	3563	1132	1470	587	504	1119	1468	604	1200	
	No.1	3111	499	2625	2294	2575	1792	1886	713	284	2746	3303	245	817	
	No.2	9863	903	3176	15747	3358	4478	7916	3975	1616	3097	5323	2243	8783	
	No.3	9876	963	4091	16900	7329	11329	10811	4800	3577	3207	17402	2962	20391	
	No.4	19244	3358	5129	19907	13449	11389	11646	5446	3597	4197	34731	5031	21148	
	No.5	34211	3902	24953	65424	13775	22110	20162	6925	4292	26767	37823	6311	32387	
	No.6	41754	16397	41181	89872	22316	30858	328743	45309	5432	39352	76891	60958	14251	56248
	平均	19677	4337	13526	35024	10467	13659	63527	11195	3133	14212	16452	26590	5174	23296
0.7	No.1	11567	25644	19920	42433	144053	64300	14213	28074	14872	875186	111901	10401	130986	
	No.2	21015	157909	32664	63977	274947	101319	43872	35552	22803	1035282	1403134	12015	486195	
	No.3	43714	380156	113819	98086	373894	156736	64267	49924	41988	63051	1129620	2000000	22485	757933
	No.4	55944	396979	132574	205382	470653	200134	287504	55424	54192	76956	2000000		37680	840362
	No.5	60076	432334	145701	307008	554273	970876	461080	59123	104094	315890	2000000		44998	1698070
	No.6	78678	550952	265104	359009	1150762	1160988	606676	283925	167292	791633	2000000		58601	2000000
	No.7	116883	592744	288233	1686731	1586348	2000000	828999	442575					114462	
	No.8	134501		1119927		2000000		896175	754515					157047	
平均			2000000				921521								
		83118	362388	457549	394661	819366	664908	458256	213639	223327	1506681	1171678	57211	985591	

表 3.12 多重比較検定結果(応力レベル0.9)

	A20	A40	G20	G40	LA20	LA40	LB20	LB40	LC20	LC40	LD20	LD40	SA	SD
A20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LA20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LA40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LB20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LB40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LD20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LD40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-: 有意差無し、\*: 5%有意有り、\*\*: 1%有意差有り

表 3.13 多重比較検定結果(応力レベル0.8)

	A20	A40	G20	G40	LA20	LA40	LB20	LB40	LC20	LC40	LD20	LD40	SA	SD
A20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LA20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LA40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LB20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LB40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LC40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LD20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LD40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-: 有意差無し、\*: 5%有意有り、\*\*: 1%有意差有り

表 3.14 多重比較検定結果(応力レベル0.7)

	A20	A40	G20	G40	LA20	LA40	LB20	LB40	LC20	LC40	LD20	LD40	SA	SD
A20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	*
A40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-
G20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-
G40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-
LA20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LA40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LB20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-
LB40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-
LC20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-
LC40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-	-	-
LD20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**	-
LD40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
SD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-: 有意差無し、\*: 5%有意有り、\*\*: 1%有意差有り

### 3.2 粗骨材最大寸法の影響

粗骨材最大寸法 40mm と 20mm の疲労試験結果を岩種や産地で区別せずにひとまとめにして、粗骨材最大寸法の影響を検討した。検討は応力レベルごとに粗骨材最大寸法 40mm の結果と 20mm の結果をそれぞれ 1 つの集団として扱い、平均と分散について t 検定 (Welch 法) および F 検定により有意差について行なった。検討結果を表 3.2.1～表 3.2.3 に示す。結果として、応力レベル 0.9 において分散に 5% 有意差が認められたが、他は平均、分散共に有意な違いは認められなかった。また、粗骨材最大寸法 40mm のみと 20mm のみの結果から順序統計に従い破壊確率を計算した。図 3.2.1 に結果を示すが、こちらも 40mm と 20mm の結果はほぼ重なっており大きな違いは認められない。よって本検討の範囲では、粗骨材最大寸法の違いがコンクリートの曲げ疲労特性に対する影響は、認められなかった。

表 3.2.1 粗骨材の岩種および産地を考慮しない Gmax20mm と 40mm 骨材の  
疲労試験結果の検定(応力レベル 0.9)

応力レベル0.9					
Gmax20mm			Gmax40mm		
破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)
141	2.149	2.0	6	0.778	2.6
177	2.248	4.1	41	1.613	5.3
177	2.248	6.1	49	1.690	7.9
226	2.354	8.2	78	1.892	10.5
235	2.371	10.2	216	2.334	13.2
251	2.400	12.2	232	2.365	15.8
299	2.476	14.3	263	2.420	18.4
352	2.547	16.3	315	2.498	21.1
362	2.559	18.4	351	2.545	23.7
377	2.576	20.4	429	2.632	26.3
442	2.645	22.4	511	2.708	28.9
516	2.713	24.5	576	2.760	31.6
520	2.716	26.5	672	2.827	34.2
550	2.740	28.6	709	2.851	36.8
571	2.757	30.6	834	2.921	39.5
577	2.761	32.7	850	2.929	42.1
582	2.765	34.7	852	2.930	44.7
585	2.767	36.7	856	2.932	47.4
718	2.856	38.8	897	2.953	50.0
722	2.859	40.8	930	2.968	52.6
779	2.892	42.9	943	2.975	55.3
786	2.895	44.9	967	2.985	57.9
801	2.904	46.9	1012	3.005	60.5
814	2.911	49.0	1200	3.079	63.2
825	2.916	51.0	1203	3.080	65.8
885	2.947	53.1	1270	3.104	68.4
887	2.948	55.1	1350	3.130	71.1
945	2.975	57.1	1357	3.133	73.7
1006	3.003	59.2	1452	3.162	76.3
1027	3.012	61.2	1715	3.234	78.9
1038	3.016	63.3	1804	3.256	81.6
1111	3.046	65.3	2072	3.316	84.2
1132	3.054	67.3	3105	3.492	86.8
1198	3.078	69.4	4329	3.636	89.5
1250	3.097	71.4	4943	3.694	92.1
1355	3.132	73.5	6514	3.814	94.7
1457	3.163	75.5	6564	3.817	97.4
1561	3.193	77.6			
1676	3.224	79.6			
1907	3.280	81.6			
1937	3.287	83.7			
1947	3.289	85.7			
2172	3.337	87.8			
2418	3.383	89.8			
3401	3.532	91.8			
3670	3.565	93.9			
3962	3.598	95.9			
18541	4.268	98.0			

F検定

	Gmax20mm	Gmax40mm
平均	2.926	2.850
分散	0.160	0.382
観測数	48	37
自由度	47	36
観測された分散比	0.419	
P(F<=f) 片側	0.003	
F境界値 片側	0.600	

P<0.05 ∴ 有意差あり

t検定

	Gmax20mm	Gmax40mm
平均	2.926	2.850
分散	0.160	0.382
観測数	48	37
仮説平均との差異	0	
自由度	58	
t	0.648	
P(T<=t) 両側	0.520	
t境界値 両側	2.002	

P>0.05 ∴ 有意差なし

表 3.22 粗骨材の岩種および産地を考慮しない Gmax20mm と 40mm 骨材の

疲労試験結果の検定(応力レベル 0.8)

応力レベル0.8					
Gmax20mm			Gmax40mm		
破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)
245	2.389	2.0	499	2.698	2.7
284	2.453	4.1	713	2.853	5.4
817	2.912	6.1	903	2.956	8.1
1616	3.208	8.2	963	2.984	10.8
1886	3.276	10.2	1792	3.253	13.5
2243	3.351	12.2	1978	3.296	16.2
2575	3.411	14.3	2294	3.361	18.9
2625	3.419	16.3	2981	3.474	21.6
2746	3.439	18.4	3218	3.508	24.3
2962	3.472	20.4	3303	3.519	27.0
3097	3.491	22.4	3358	3.526	29.7
3111	3.493	24.5	3902	3.591	32.4
3176	3.502	26.5	3975	3.599	35.1
3207	3.506	28.6	4478	3.651	37.8
3358	3.526	30.6	4800	3.681	40.5
3577	3.554	32.7	5323	3.726	43.2
3597	3.556	34.7	5446	3.736	45.9
4091	3.612	36.7	6925	3.840	48.6
4197	3.623	38.8	10977	4.040	51.4
4292	3.633	40.8	11329	4.054	54.1
5031	3.702	42.9	11389	4.056	56.8
5129	3.710	44.9	15747	4.197	59.5
5432	3.735	46.9	16397	4.215	62.2
6311	3.800	49.0	16900	4.228	64.9
7329	3.865	51.0	17402	4.241	67.6
7916	3.899	53.1	19907	4.299	70.3
8574	3.933	55.1	22110	4.345	73.0
8783	3.944	57.1	26767	4.428	75.7
9863	3.994	59.2	30858	4.489	78.4
9876	3.995	61.2	34731	4.541	81.1
10811	4.034	63.3	37823	4.578	83.8
11646	4.066	65.3	39352	4.595	86.5
13449	4.129	67.3	45309	4.656	89.2
13775	4.139	69.4	60958	4.785	91.9
14251	4.154	71.4	65424	4.816	94.6
19244	4.284	73.5	89872	4.954	97.3
20162	4.305	75.5			
20391	4.309	77.6			
21148	4.325	79.6			
22316	4.349	81.6			
24953	4.397	83.7			
32387	4.510	85.7			
34211	4.534	87.8			
41181	4.615	89.8			
41754	4.621	91.8			
56248	4.750	93.9			
76891	4.886	95.9			
328743	5.517	98.0			

F検定

	Gmax20mm	Gmax40mm
平均	3.861	3.910
分散	0.344	0.355
観測数	48	36
自由度	47	35
観測された分散比	0.967	
P(F<=f) 片側	0.452	
F境界値 片側	0.598	

P>0.05 ∴ 有意差なし

t検定

	Gmax20mm	Gmax40mm
平均	3.861	3.910
分散	0.344	0.355
観測数	48	36
仮説平均との差異	0	
自由度	75	
t	-0.378	
P(T<=t) 両側	0.706	
t境界値 両側	1.992	

P>0.05 ∴ 有意差なし

表 3.2.3 粗骨材の岩種および産地を考慮しない Gmax20mm と 40mm 骨材の

疲労試験結果の検定(応力レベル 0.7)

応力レベル 0.7					
Gmax20mm			Gmax40mm		
破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)
11567	4.063	1.6	25644	4.409	2.5
10401	4.017	3.2	28074	4.448	5.0
12015	4.080	4.8	35552	4.551	7.5
14213	4.153	6.3	38374	4.584	10.0
14872	4.172	7.9	42433	4.628	12.5
19920	4.299	9.5	49924	4.698	15.0
21015	4.323	11.1	54055	4.733	17.5
22485	4.352	12.7	55424	4.744	20.0
22803	4.358	14.3	59123	4.772	22.5
32664	4.514	15.9	63051	4.800	25.0
37680	4.576	17.5	63977	4.806	27.5
41988	4.623	19.0	64300	4.808	30.0
43714	4.641	20.6	76956	4.886	32.5
43872	4.642	22.2	98086	4.992	35.0
44998	4.653	23.8	101319	5.006	37.5
54192	4.734	25.4	111901	5.049	40.0
55944	4.748	27.0	156736	5.195	42.5
58601	4.768	28.6	157909	5.198	45.0
60076	4.779	30.2	200134	5.301	47.5
64267	4.808	31.7	205382	5.313	50.0
78678	4.896	33.3	283925	5.453	52.5
104094	5.017	34.9	307008	5.487	55.0
113819	5.056	36.5	315890	5.500	57.5
114462	5.059	38.1	359009	5.555	60.0
116883	5.068	39.7	380156	5.580	62.5
130986	5.117	41.3	396979	5.599	65.0
132574	5.122	42.9	432334	5.636	67.5
134501	5.129	44.4	442575	5.646	70.0
144053	5.159	46.0	550952	5.741	72.5
145701	5.163	47.6	592744	5.773	75.0
157047	5.196	49.2	754515	5.878	77.5
167292	5.223	50.8	791633	5.899	80.0
225682	5.353	52.4	970876	5.987	82.5
265104	5.423	54.0	1160988	6.065	85.0
274947	5.439	55.6	1403134	6.147	87.5
287504	5.459	57.1	1686731	6.227	90.0
288233	5.460	58.7	2000000	6.301	92.5
373894	5.573	60.3	2000000	6.30103	95
461080	5.664	61.9			
470653	5.673	63.5			
486195	5.687	65.1			
554273	5.744	66.7			
606676	5.783	68.3			
757933	5.880	69.8			
828999	5.919	71.4			
840362	5.924	73.0			
875186	5.942	74.6			
896175	5.952	76.2			
921521	5.965	77.8			
1035282	6.015	79.4			
1119927	6.049	81.0			
1129620	6.053	82.5			
1150762	6.061	84.1			
1586348	6.200	85.7			
1698070	6.230	87.3			
2000000	6.301	88.9			
2000000	6.301	90.5			
2000000	6.301	92.1			
2000000	6.301	93.7			
2000000	6.301	95.2			
2000000	6.301	96.8			

F検定

	Gmax20mm	Gmax40mm
平均	5.275	5.308
分散	0.486	0.319
観測数	61	38
自由度	60	37
観測された分散比	1.523	
P(F<=f) 片側	0.086	
F境界値 片側	1.662	

P>0.05 ∴ 有意差なし

t検定

	Gmax20mm	Gmax40mm
平均	5.275	5.308
分散	0.486	0.319
観測数	61	38
仮説平均との差異	0	
自由度	90	
t	-0.258	
P(T<=t) 両側	0.797	
t境界値 両側	1.987	

P>0.05 ∴ 有意差なし

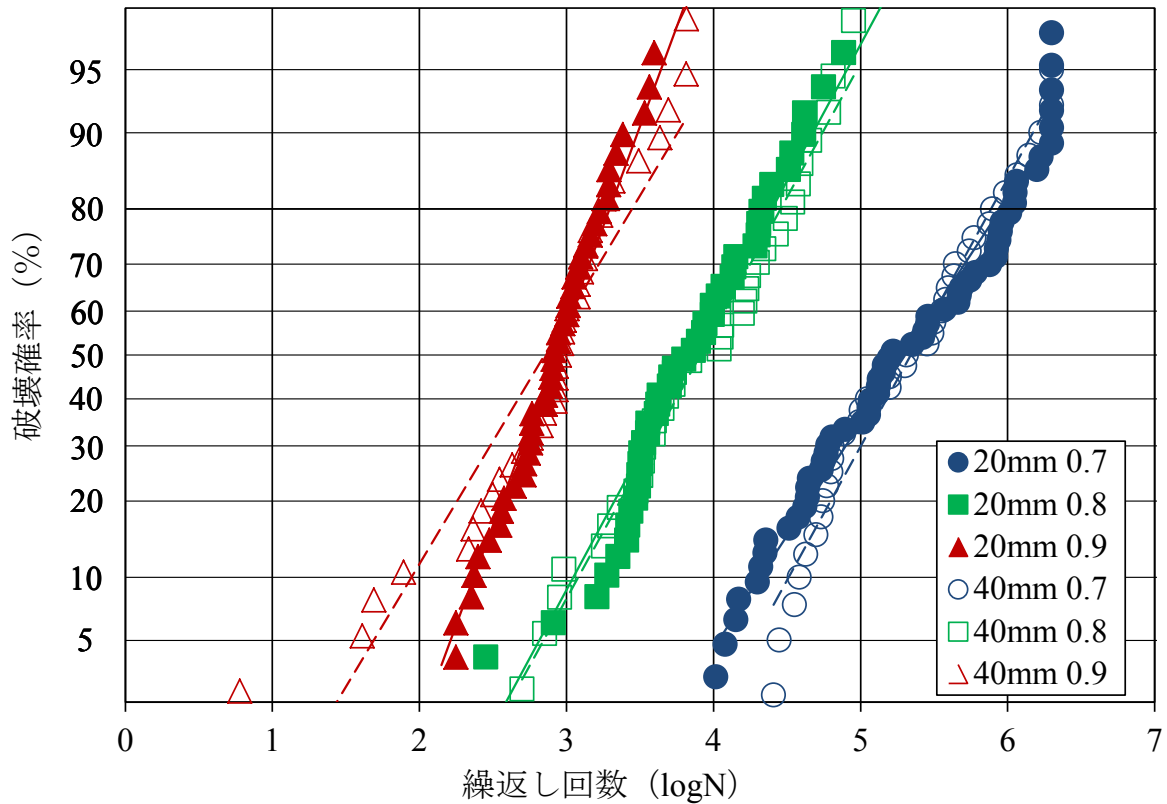


図 3.2.1 粗骨材最大寸法別の繰返し荷重数と破壊確率の関係(全試験結果より)

### 3.3 骨材物性値と疲労特性の関係

次に、骨材物性と疲労特性の関係について検討した。この検討では、疲労特性の代表値として応力レベル 0.7 および 0.8 における平均疲労破壊繰返し回数と骨材物性値の関係について調査した。応力レベル 0.7 および 0.8 における平均破壊繰返し回数と骨材物性値の関係を示したグラフを図 3.3.1～図 3.3.9 に示す。結果として、疲労特性と骨材物性に明確な関係性は示されなかった。

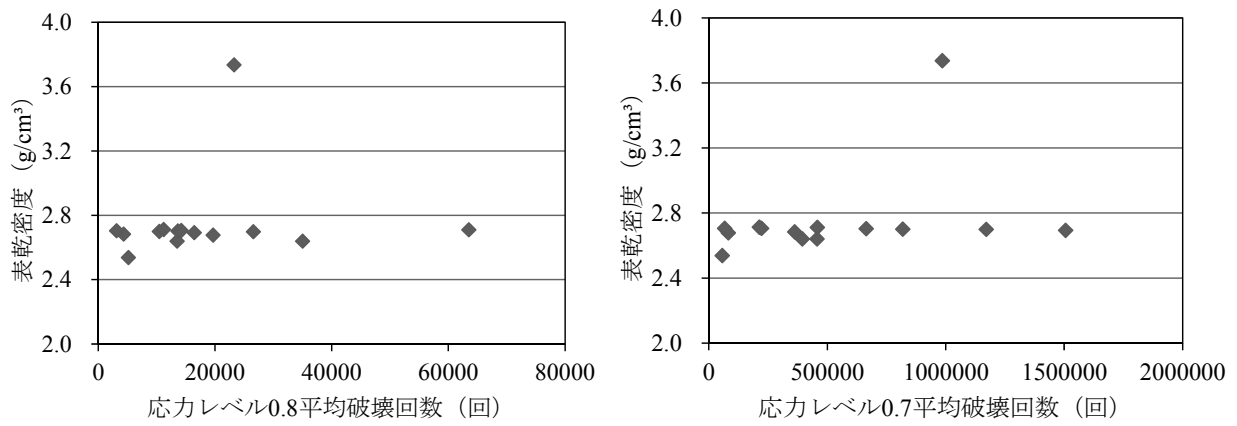


図 3.3.1 表乾密度と疲労特性の関係

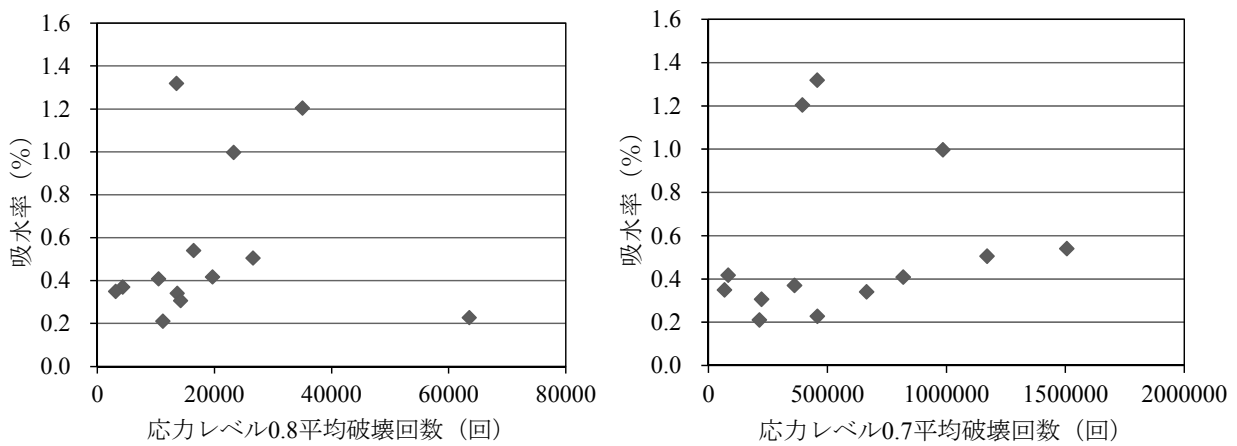


図 3.3.2 吸水率と疲労特性の関係

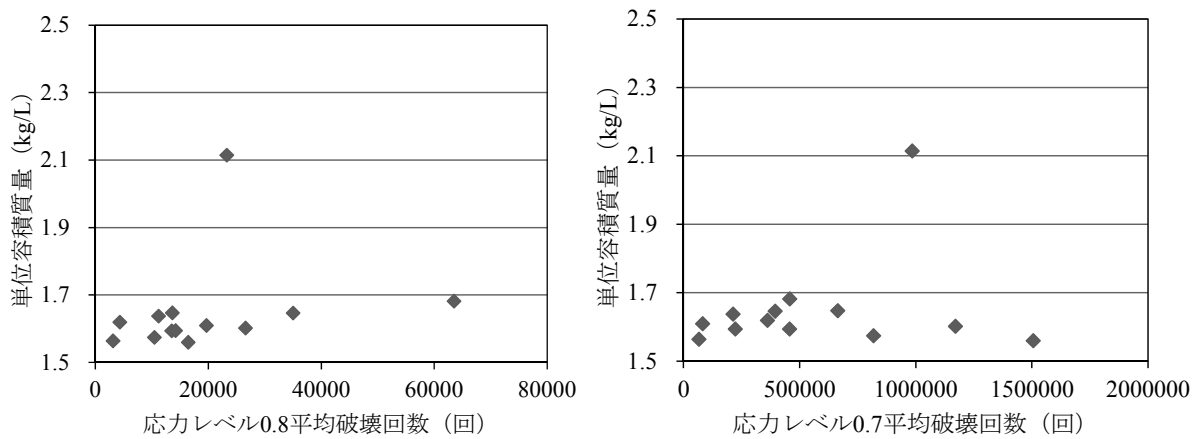


図 3.3.3 単位容積質量と疲労特性の関係



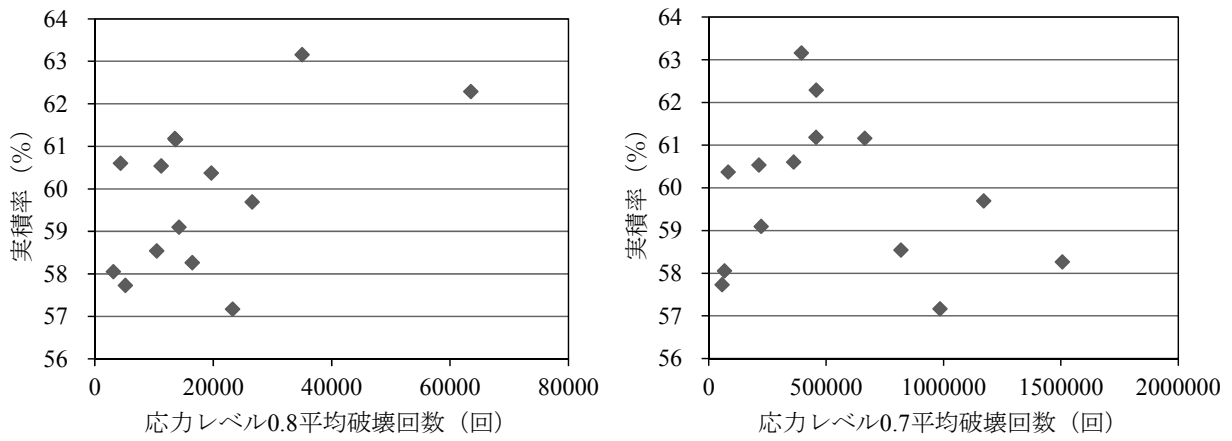


図 3.34 実積率と疲労特性の関係

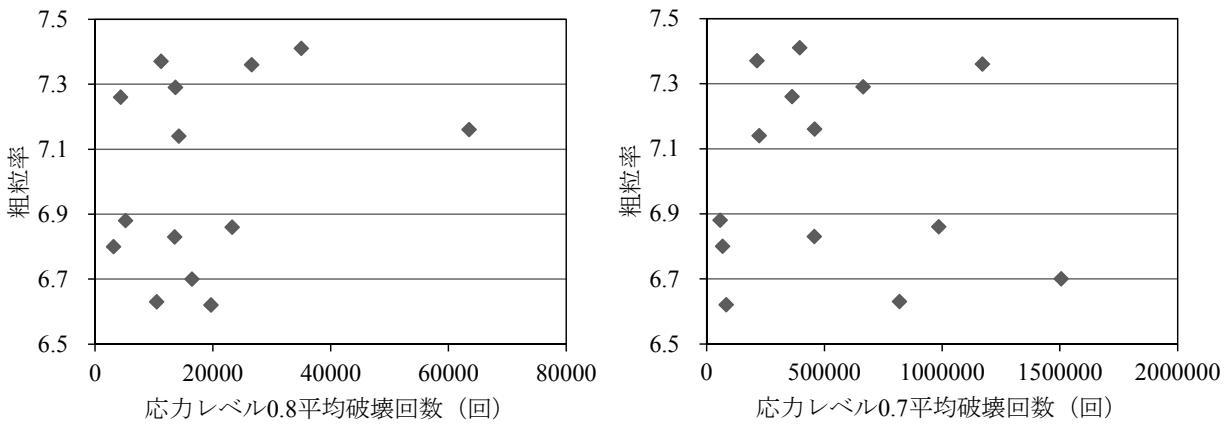


図 3.35 粗粒率と疲労特性の関係

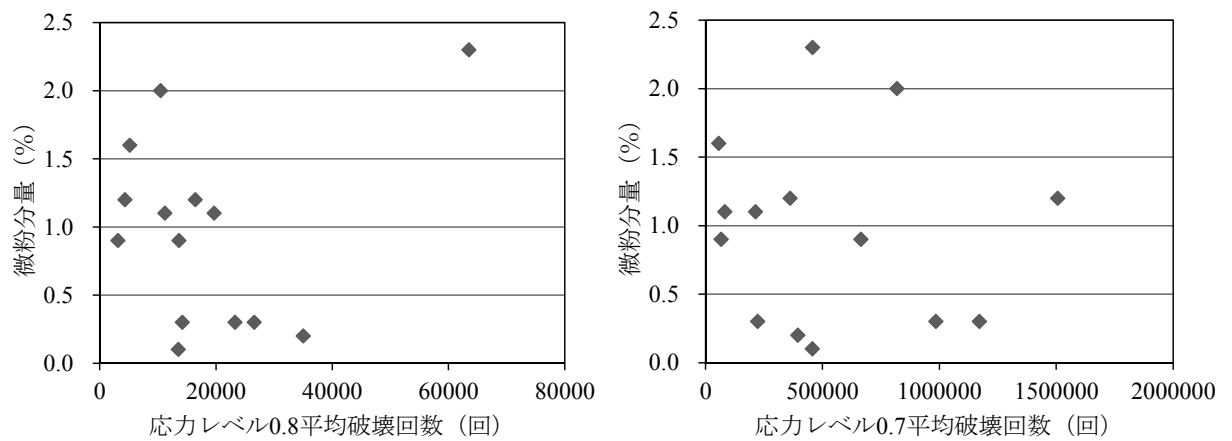


図 3.36 微粉分量と疲労特性の関係

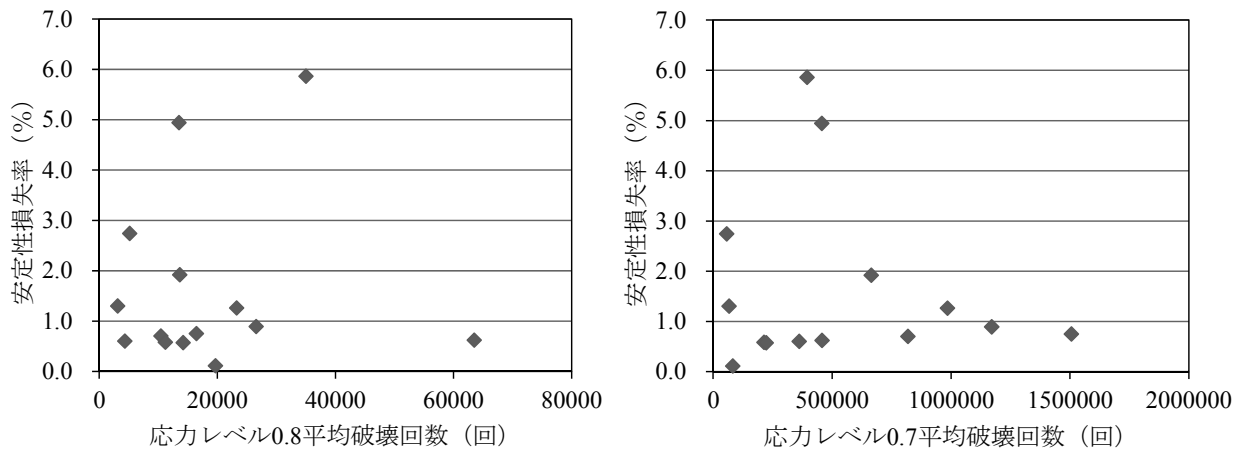


図 3.3.7 安定性損失率と疲労特性の関係

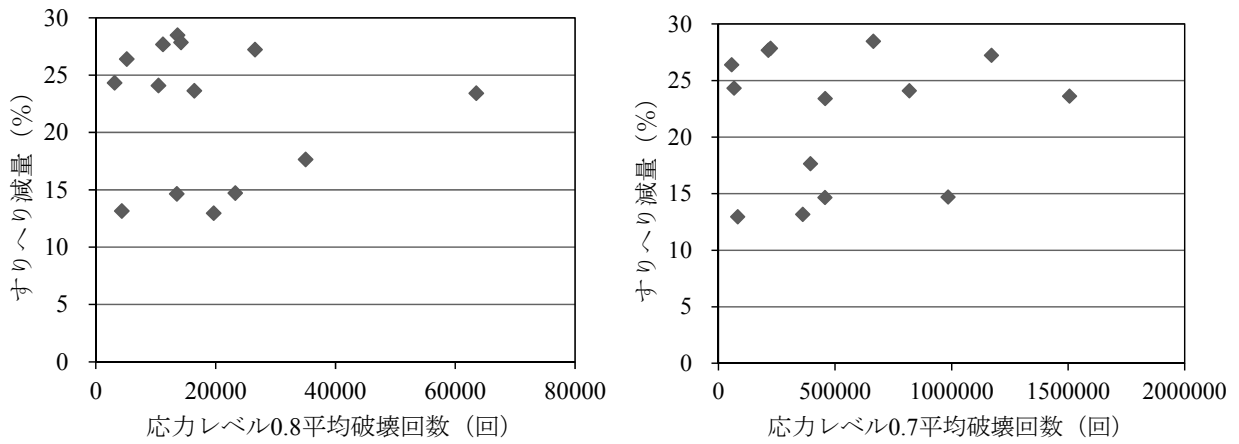


図 3.3.8 すりへり減量と疲労特性の関係

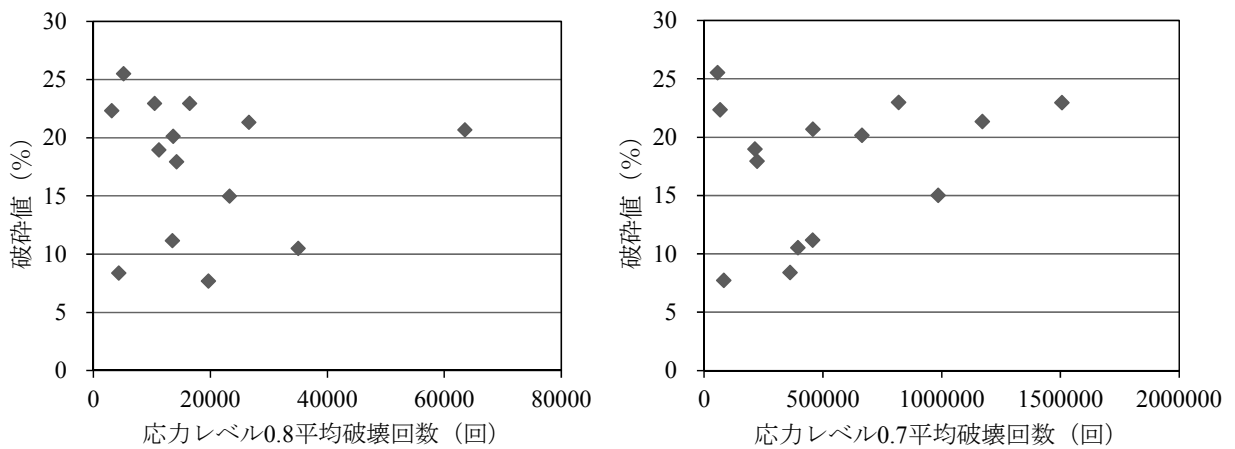


図 3.3.9 破砕値と疲労特性の関係

### 3.4 既往の疲労試験結果との比較

上記の結果から、今回の検討の範囲ではコンクリートの疲労特性に使用する粗骨材の種類や粗骨材最大寸法 (40mm or 20mm) が及ぼす影響は明確ではなかった。そこで、今回の試験結果を応力レベルごとに一つの結果として扱い、各破壊回数の破壊確率を求めた。結果を図 3.4.1 及び表 3.4.1 に示す。破壊回数 (logN) と破壊確率は強い相関を示しており、破壊確率と破壊回数は対数正規分布に良く適合している。よって、以降本試験の結果は応力レベルごとに一つの試験結果として取り扱うこととする。

既往の試験結果との比較は、本検討と同じく一般的な舗装用コンクリートの疲労について検討し、なおかつ疲労試験条件が応力レベル 0.9、0.8、0.7、載荷速度が 5Hz である文献 1) 及び 2) を対象に応力レベルごとの結果を多重比較検定により検定し行なった。なお、文献 1) は供した寸法 150×150×530mm の結果のみを用いた。文献 1) 及び 2) の疲労試験結果を表 3.4.2 に示し、本試験結果との検定結果を表 3.4.3 に示す。結果として文献 1) と本試験結果には有意差は認められず、文献 2) については本試験結果と異なる結果となった。これは、文献 2) において使用された試験機が写真 3.4.1 に示すようにローラー支点ではなかったため、底面に拘束力が発生しこれが試験結果に影響した可能性がある。

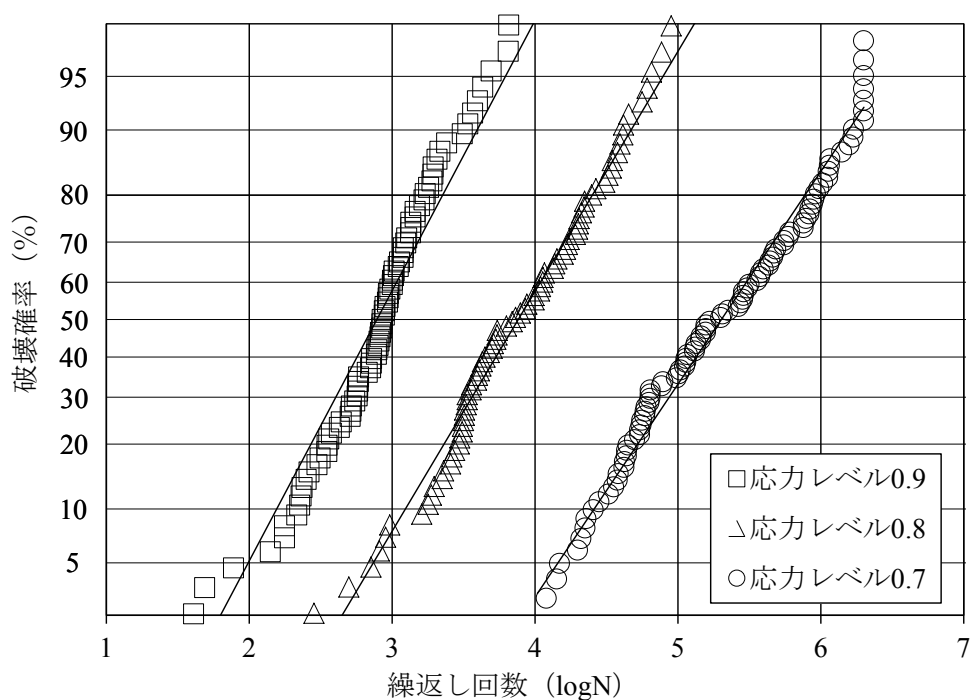


図 3.4.1 破壊確率と疲労破壊までの繰返し回数の関係

表 3.4.1 破壊確率と疲労破壊までの繰返し回数の一覧(1/2)

	応力レベル0.9			応力レベル0.8			応力レベル0.7		
	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)
1	6	0.78	1.2	245	2.39	1.2	11567	4.06	1.0
2	41	1.61	2.3	284	2.45	2.4	10401	4.02	2.0
3	49	1.69	3.5	499	2.70	3.5	12015	4.08	3.0
4	78	1.89	4.7	713	2.85	4.7	14213	4.15	4.0
5	141	2.15	5.8	817	2.91	5.9	14872	4.17	5.0
6	177	2.25	7.0	903	2.96	7.1	19920	4.30	5.9
7	177	2.25	8.1	963	2.98	8.2	21015	4.32	6.9
8	216	2.33	9.3	1616	3.21	9.4	22485	4.35	7.9
9	226	2.35	10.5	1792	3.25	10.6	22803	4.36	8.9
10	232	2.37	11.6	1886	3.28	11.8	25644	4.41	9.9
11	235	2.37	12.8	1978	3.30	12.9	28074	4.45	10.9
12	251	2.40	14.0	2243	3.35	14.1	32664	4.51	11.9
13	263	2.42	15.1	2294	3.36	15.3	35552	4.55	12.9
14	299	2.48	16.3	2575	3.41	16.5	37680	4.58	13.9
15	315	2.50	17.4	2625	3.42	17.6	38374	4.58	14.9
16	351	2.55	18.6	2746	3.44	18.8	41988	4.62	15.8
17	352	2.55	19.8	2962	3.47	20.0	42433	4.63	16.8
18	362	2.56	20.9	2981	3.47	21.2	43714	4.64	17.8
19	377	2.58	22.1	3097	3.49	22.4	43872	4.64	18.8
20	429	2.63	23.3	3111	3.49	23.5	44998	4.65	19.8
21	442	2.65	24.4	3176	3.50	24.7	49924	4.70	20.8
22	511	2.71	25.6	3207	3.51	25.9	54055	4.73	21.8
23	516	2.71	26.7	3218	3.51	27.1	54192	4.73	22.8
24	520	2.72	27.9	3303	3.52	28.2	55424	4.74	23.8
25	550	2.74	29.1	3358	3.53	29.4	55944	4.75	24.8
26	571	2.76	30.2	3358	3.53	30.6	58601	4.77	25.7
27	576	2.76	31.4	3577	3.55	31.8	59123	4.77	26.7
28	577	2.76	32.6	3597	3.56	32.9	60076	4.78	27.7
29	582	2.76	33.7	3902	3.59	34.1	63051	4.80	28.7
30	585	2.77	34.9	3975	3.60	35.3	63977	4.81	29.7
31	672	2.83	36.0	4091	3.61	36.5	64267	4.81	30.7
32	709	2.85	37.2	4197	3.62	37.6	64300	4.81	31.7
33	718	2.86	38.4	4292	3.63	38.8	76956	4.89	32.7
34	722	2.86	39.5	4478	3.65	40.0	78678	4.90	33.7
35	779	2.89	40.7	4800	3.68	41.2	98086	4.99	34.7
36	786	2.90	41.9	5031	3.70	42.4	101319	5.01	35.6
37	801	2.90	43.0	5129	3.71	43.5	104094	5.02	36.6
38	814	2.91	44.2	5323	3.73	44.7	111901	5.05	37.6
39	825	2.92	45.3	5432	3.73	45.9	113819	5.06	38.6

表 3.4.1 破壊確率と疲労破壊までの繰返し回数の一覧(2/2)

	応力レベル0.9			応力レベル0.8			応力レベル0.7		
	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)	破壊回数N (回)	LogN	破壊確率 (%)
40	834	2.92	46.5	5446	3.74	47.1	114462	5.06	39.6
41	850	2.93	47.7	6311	3.80	48.2	116883	5.07	40.6
42	852	2.93	48.8	6925	3.84	49.4	130986	5.12	41.6
43	856	2.93	50.0	7329	3.87	50.6	132574	5.12	42.6
44	885	2.95	51.2	7916	3.90	51.8	134501	5.13	43.6
45	887	2.95	52.3	8574	3.93	52.9	144053	5.16	44.6
46	897	2.95	53.5	8783	3.94	54.1	145701	5.16	45.5
47	930	2.97	54.7	9863	3.99	55.3	156736	5.20	46.5
48	943	2.97	55.8	9876	3.99	56.5	157047	5.20	47.5
49	945	2.98	57.0	10811	4.03	57.6	157909	5.20	48.5
50	967	2.99	58.1	10977	4.04	58.8	167292	5.22	49.5
51	1006	3.00	59.3	11329	4.05	60.0	200134	5.30	50.5
52	1012	3.01	60.5	11389	4.06	61.2	205382	5.31	51.5
53	1027	3.01	61.6	11646	4.07	62.4	225682	5.35	52.5
54	1038	3.02	62.8	13449	4.13	63.5	265104	5.42	53.5
55	1111	3.05	64.0	13775	4.14	64.7	274947	5.44	54.5
56	1132	3.05	65.1	14251	4.15	65.9	283925	5.45	55.4
57	1198	3.08	66.3	15747	4.20	67.1	287504	5.46	56.4
58	1200	3.08	67.4	16397	4.21	68.2	288233	5.46	57.4
59	1203	3.08	68.6	16900	4.23	69.4	307008	5.49	58.4
60	1250	3.10	69.8	17402	4.24	70.6	315890	5.50	59.4
61	1270	3.10	70.9	19244	4.28	71.8	359009	5.56	60.4
62	1350	3.13	72.1	19907	4.30	72.9	373894	5.57	61.4
63	1355	3.13	73.3	20162	4.30	74.1	380156	5.58	62.4
64	1357	3.13	74.4	20391	4.31	75.3	396979	5.60	63.4
65	1452	3.16	75.6	21148	4.33	76.5	432334	5.64	64.4
66	1457	3.16	76.7	22110	4.34	77.6	442575	5.65	65.3
67	1561	3.19	77.9	22316	4.35	78.8	461080	5.66	66.3
68	1676	3.22	79.1	24953	4.40	80.0	470653	5.67	67.3
69	1715	3.23	80.2	26767	4.43	81.2	486195	5.69	68.3
70	1804	3.26	81.4	30858	4.49	82.4	550952	5.74	69.3
71	1907	3.28	82.6	32387	4.51	83.5	554273	5.74	70.3
72	1937	3.29	83.7	34211	4.53	84.7	592744	5.77	71.3
73	1947	3.29	84.9	34731	4.54	85.9	606676	5.78	72.3
74	2072	3.32	86.0	37823	4.58	87.1	754515	5.88	73.3
75	2172	3.34	87.2	39352	4.59	88.2	757933	5.88	74.3
76	2418	3.38	88.4	41181	4.61	89.4	791633	5.90	75.2
77	3105	3.49	89.5	41754	4.62	90.6	828999	5.92	76.2
78	3401	3.53	90.7	45309	4.66	91.8	840362	5.92	77.2
79	3670	3.56	91.9	56248	4.75	92.9	875186	5.94	78.2
80	3962	3.60	93.0	60958	4.79	94.1	896175	5.95	79.2
81	4329	3.64	94.2	65424	4.82	95.3	921521	5.96	80.2
82	4943	3.69	95.3	76891	4.89	96.5	970876	5.99	81.2
83	6514	3.81	96.5	89872	4.95	97.6	1035282	6.02	82.2
84	6564	3.82	97.7	328743	5.52	98.8	1119927	6.05	83.2
85	18541	4.27	98.8				1129620	6.05	84.2
86							1150762	6.06	85.1
87							1160988	6.06	86.1
88							1403134	6.15	87.1
89							1586348	6.20	88.1
90							1686731	6.23	89.1
91							1698070	6.23	90.1
92							2000000	6.30	91.1
93							2000000	6.30	92.1
94							2000000	6.30	93.1
95							2000000	6.30	94.1
96							2000000	6.30	95.0
97							2000000	6.30	96.0
98							2000000	6.30	97.0
99							2000000	6.30	98.0

表 3.42 文献1)及び文献2)の疲労試験結果

応力レベル0.9		応力レベル0.8		応力レベル0.7	
文献1)	文献2)	文献1)	文献2)	文献1)	文献2)
32	150	479	470	4332	23000
58	264	838	1547	8541	68000
60	319	1065	3124	12242	110000
68	471	1382	3685	14500	110000
70	498	1499	4204	21808	210000
78	591	2540	5729	26948	340000
80	663	3946	5980	103529	450000
90	670	4808	6671	174349	590000
95	733	6671	7582	203495	620000
98	952	9129	9525		770000
	952		10000		850000
	1081		10000		900000
	1307		10000		940000
	1444		11000		1100000
	1767		16000		1200000
	1805		23000		1400000
	1947		23000		1500000
	1957		26000		1700000
	2283		32000		2100000
	2834		32000		2600000
	2845		32000		2000000
	3245		37000		2000000
	3849		39000		2000000
	3907		42000		2000000
	4147		45000		2000000
	4297		46000		2000000
	4464		51000		2000000
	4506		51000		2000000
	4801		66000		2000000
	5714		67000		2000000
	6359		75000		2000000
	8900		77000		2000000
	10423		160000		2000000
	14059		240000		2000000
	14197		420000		2000000
	14214		720000		2000000
	17219		740000		2000000
	21000		1200000		5000000
	22000		1400000		5000000
	23000		1500000		5000000
	23000		2100000		5000000
	25000		3100000		
	27000		2000000		
	30000		2000000		
	49000		2000000		
	300000		3000000		
			3000000		
			5000000		
			5000000		

	応力レベル0.9			応力レベル0.8			応力レベル0.7		
	本結果	文献1)	文献2)	本結果	文献1)	文献2)	本結果	文献1)	文献2)
本結果	/	-	*	/	-	**	/	-	**
文献4	/	/	-	/	/	*	/	/	**
文献5	/	/	/	/	/	/	/	/	/

- : 有意差無し、\* : 5%有意差有り、\*\* : 1%有意差有り



写真 3.4.1 文献2)で用いられた载荷治具

### 3.5 疲労曲線

以上の結果より、試験方法が同じであれば一般的な舗装用コンクリートの曲げ疲労試験結果に、試験所や使用した粗骨材の影響は小さいことが分かった。そこで、本試験結果及び文献1)の結果を1つにまとめ、2.4に示した方法で疲労曲線を算出した。図3.5.1に両結果から得られた破壊確率50%の疲労曲線を示し、破壊確率と疲労破壊までの繰返し回数との関係を図3.5.2に示す。なお、各破壊確率における式2.4.3の係数a及びbを表3.5.1に示す。また、図3.5.1には比較のため1984年のコンクリート舗装要綱、2007年及び2014年の舗装標準示方書に記載されている疲労曲線を同じく記す。本試験結果及び文献1)の結果より算出された疲労曲線は、2007年と2014年の示方書に記載されている疲労曲線に挟まれる場所に位置した。

表 3.5.1 本結果+文献1)の結果より得られた疲労曲線の係数

破壊確率 (%)	a	b
10	0.0868	1.0694
20	0.0849	1.0883
30	0.0835	1.1014
40	0.0823	1.1121
50	0.0812	1.1218
60	0.0802	1.1313
70	0.0790	1.1410
80	0.0778	1.1521
90	0.0760	1.1667

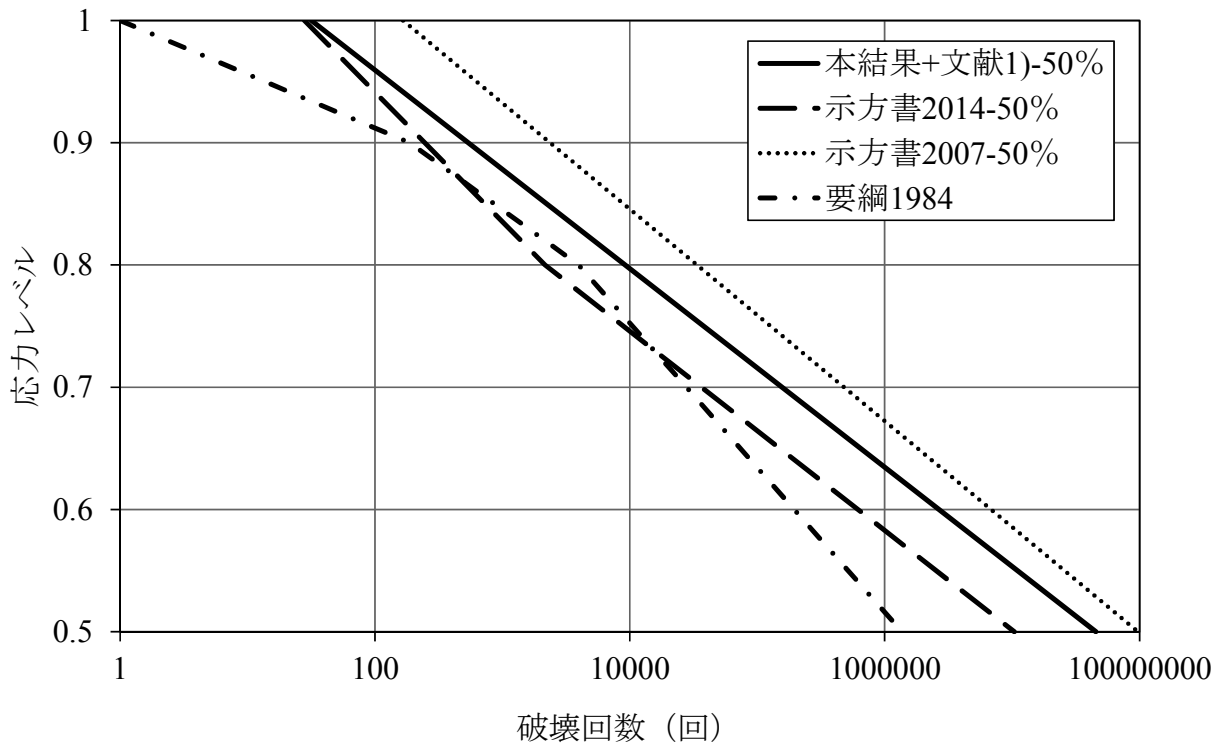


図 3.5.1 各疲労曲線(破壊確率 50%)



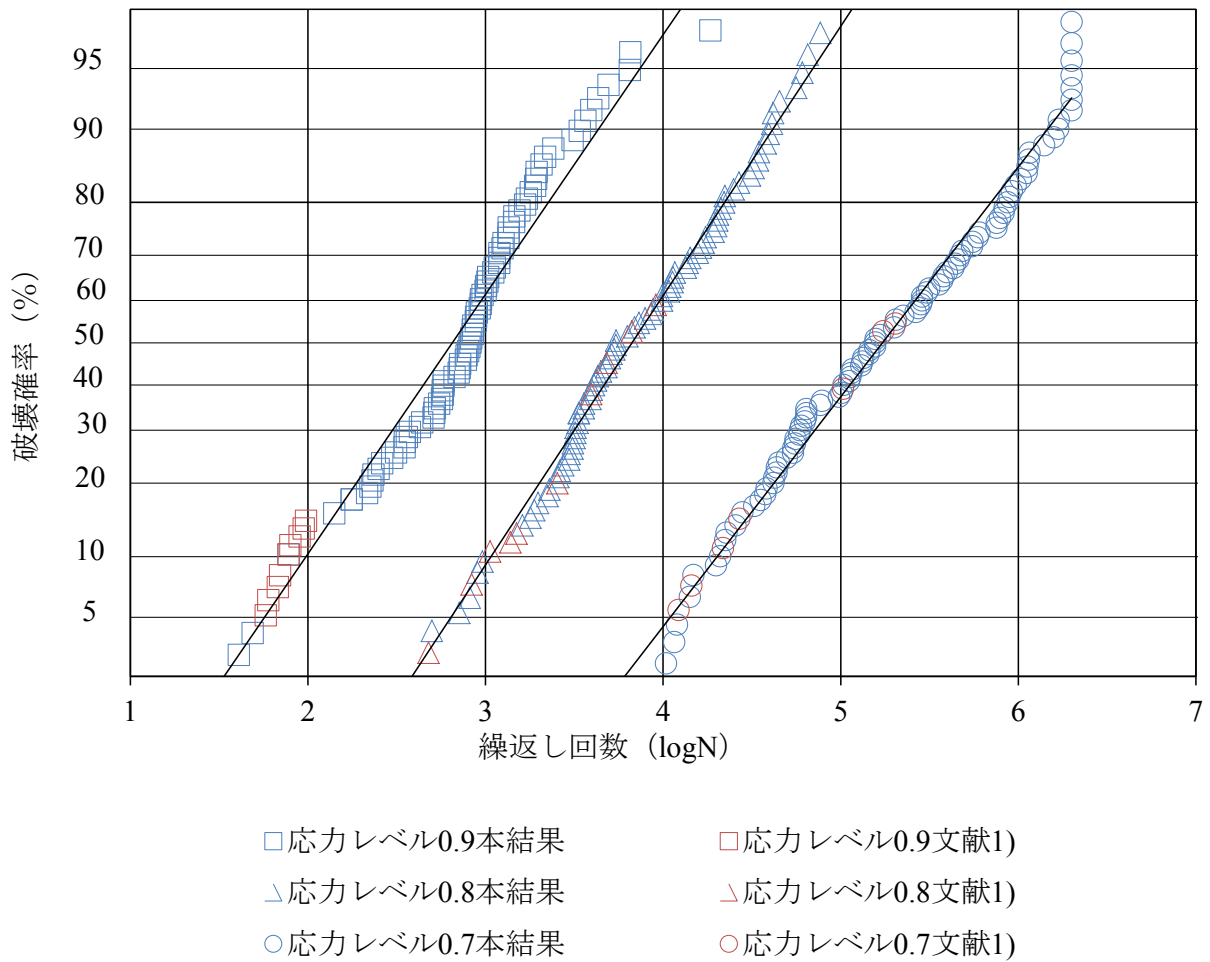


図 3.52 本結果と文献1)の結果を合わせた場合の破壊確率と疲労破壊までの繰返し回数との関係

### 3章の参考文献

- 1) 吉本徹、佐藤良一：舗装用コンクリートの曲げ強度と曲げ疲労強度の寸法効果に関する研究、土木学会論文集 E2、Vol67、No.2、pp.181-188、2011
- 2) 小梁川雅、米谷裕、福田正：確率特性を考慮したコンクリート舗装版の曲げ疲労設計曲線、土木学会論文集、No.426、pp.151-157、1991.2

## 4. まとめ

本検討では、岩種や産地、粗骨材最大寸法が異なる骨材を用いた舗装用コンクリートの曲げ疲労試験を行い、結果を比較したところ下記の知見を得た。

- ①コンクリートに用いる粗骨材が異なっても、疲労試験結果に有意な違いはほとんど示されず、試験結果の差はコンクリートの疲労破壊現象のなかのばらつきとして扱って良い可能性が示唆された。
- ②コンクリートの疲労特性とコンクリートに用いた粗骨材の物性や最大寸法との間に有意な関係は認められなかった。
- ③今回の結果を既往の試験結果と比較したところ、試験方法が同じであれば試験結果に有意な違いは認められなかった。
- ④本試験結果及び既往の結果より新たな疲労曲線を得た。得られた疲労曲線は従来の曲線と大きくは異ならなかった。

以上

## 5. 関連発表リスト

### 【2013 年度】

- 1) 森濱 和正、島崎 泰、瀧波 勇人、石田 征男：石灰石骨材を用いた舗装コンクリートの配合に関する検討、第 67 回セメント技術大会講演要旨、pp.86-87、2013.5
- 2) 森濱 和正、渡辺 博志、石田 征男、瀧波 勇人：粗骨材の最大寸法 20mm、スランプ 5cm の舗装コンクリートの配合に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、No.1、pp.1363-1368、2013.7
- 3) 森濱 和正、島崎 泰、石田 征男：舗装コンクリートに使用する各種骨材の試験結果、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.915-916、2013.9
- 4) 勝畑 俊幸、森濱 和正、石田 征男、瀧波 勇人：各種スラグ粗骨材を用いた舗装コンクリートの配合に関する検討、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.917-918、2013.9
- 5) 瀧波 勇人、森濱 和正、小梁川 雅、石田 征男：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの曲げおよび圧縮強度試験結果、土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.919-920、2013.9
- 6) 森濱 和正、小梁川 雅、島崎 泰、石田 征男、瀧波 勇人：各種骨材を用いた舗装コンクリートの配合試験、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol.69、No.3、pp.81-86、2013.12
- 7) (独)土木研究所、(学)東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性 (1)骨材試験、コンクリートの配合および強度試験、共同研究報告書第 455 号、2014.3

### 【2014 年度】

- 1) 森濱 和正、渡辺 博志、勝畑 俊幸：スラグ骨材を用いた舗装コンクリートの強度に関する検討、第 68 回セメント技術大会講演要旨、pp.70-71、2014.5
- 2) 森濱 和正、勝畑 俊幸、加藤 学、常松 直志：スラグ骨材を用いた舗装コンクリートのすり減り抵抗性に関する検討、第 68 回セメント技術大会講演要旨、pp.72-73、2014.5
- 3) 森濱 和正、勝畑 俊幸、加藤 学、常松 直志：碎石、砂利を用いた舗装コンクリートの強度、すり減り抵抗性、コンクリート工学年次論文集、Vol.36、No.1、pp.1624-1629、2014.7
- 4) 石田 征男、梶尾 聡、森濱 和正、勝畑 俊幸、中原 大磯：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの凍結融解抵抗性に関する研究、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.991-992、2014.9
- 5) 常松 直志、森濱 和正、勝畑 俊幸、加藤 学、石田 征男、瀧波 勇人：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートのすり減り抵抗性に関する検討、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.1163-1164、2014.9
- 6) 森濱 和正、勝畑 俊幸：コンクリート舗装の圧縮強度による管理・検査に関する一考察、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.1165-1166、2014.9
- 7) 瀧波 勇人、森濱 和正、吉本 徹、勝畑 俊幸：舗装コンクリートの曲げ試験による弾性係数に関する一検討、土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.1167-1168、2014.9

- 8) 瀧波 勇人、小梁川 雅、森濱 和正、常松 直志、石田 征男：各種骨材を用いた舗装コンクリートの強度特性及び耐摩耗性に関する研究、土木学会論文集 E1 (舗装工学)、Vol.70、No.3、pp. I\_107- I\_113、2014.12
- 9) 渡辺 博志、森濱 和正、勝畑 敏幸：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する研究、土木技術資料、Vol.57、No.3、pp.50-51、2015.3
- 10) (独)土木研究所、(学)東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性 (2)舗装コンクリートの耐久性試験、共同研究報告書第 462 号、2015.3

【2015 年度】

- 1) 森濱 和正、勝畑 敏幸、石田 征男、常松 直志：スラグ粗骨材を用いた舗装コンクリートの特性、舗装、Vol.50、No.5、pp.17-21、2015.5
- 2) 森濱 和正、勝畑 敏幸、渡辺 博志：舗装コンクリートのスケーリング抵抗性に関する実験的検討、第 69 回セメント技術大会講演要旨、pp.198-199、2015.5
- 3) 常松 直志、森濱 和正、勝畑 敏幸、加藤 学、石田 征男、瀧波 勇人：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートの耐摩耗性に関する検討、土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集、第 V 部、pp.727-728、2015.9
- 4) 加藤 学、常松 直志、森濱 和正：各種粗骨材を用いた舗装コンクリートのすべり抵抗性に関する検討、第 31 回日本道路会議 舗装部門、3097、2015.10
- 5) 森濱 和正、加藤 祐哉、古賀 裕久：スラグ骨材を用いた舗装用コンクリートの特性、土木技術資料、Vol.57、No.12、pp.20-25、2015.12
- 6) (国研)土木研究所、(学)東京農業大学、(一社)セメント協会、太平洋セメント(株)、日本道路(株)：骨材資源を有効活用した舗装用コンクリートの耐久性確保に関する共同研究報告書 I 各種粗骨材の舗装コンクリートへの適用性 (3)舗装コンクリートの施工性、走行安全性および耐久性試験、共同研究報告書第 477 号、2016.1

## 共同研究参加者名簿

機 関	氏 名	所 属・役 職	参 加 期 間
(国研)土木研 究 所	渡辺 博志	材料資源研究グループ グループ長	2012.4～16.3
	古賀 裕久	材料資源研究グループ 上席研究員	2015.4～16.3
	森濱 和正	材料資源研究グループ 総括主任研究員	2012.4～16.3
	加藤 祐哉	材料資源研究グループ 研究員	2015.4～16.3
	勝畑 敏幸	材料資源研究グループ 基礎材料チーム 交流研究員 (BASF ジャパン(株))	2013.1～14.12
(学)東京農業 大 学	小梁川 雅	地域環境科学部 生産環境工学科 教授	2012.4～16.3
(一社) セメント 協 会 舗装技術 専 門 委 員 会	小梁川 雅	東京農業大学 地域環境科学部 生産環境工学科 教授	2012.4～16.3
	小林 哲夫	住友大阪セメント(株) セメント・コンクリート研究所 副所長	2012.4～16.3
	上野 敦	首都大学東京 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域 土木材料 研究室 准教授	2012.4～16.3
	高橋 茂樹	(株)高速道路総合技術研究所 道後研究部 舗装研究室 室長	2015.4～16.3
	佐藤 正和	(株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 舗装研究室 室長	2012.4～15.3
	辻井 豪	大成ロテック(株) 事業本部 技術研究所 参事	2012.4～16.3
	白井 悠	(株)NIPPO 総合技術部 技術研究所 研究第二グループ 副主任研究員	2013.5～16.3
	石垣 勉	(株)NIPPO 研究開発本部 技術研究所 研究第一グループ 主任研究員	2012.4～13.4
	伊藤 清志	鹿島道路(株) 生産技術本部 技術部 技術課 係長	2012.4～16.3
	入江 一次	全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所	2015.4～16.3
	原田 修輔	全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長	2014.8～15.3
	辻本 一志	全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 主席研究員	2012.4～14.7
	吉田 浩一郎	宇部興産(株) 建設資材カンパニー 技術開発研究所 コンクリート 開発部コンクリート開発グループ 主席部員	2012.4～16.3
	玉野 茂昭	(株)トクヤマ セメント企画グループ	2012.4～16.3
	石田 征男	太平洋セメント(株) 中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装 技術チーム 主任研究員	2014.4～16.3
梶尾 聡	太平洋セメント(株) 中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装 技術チーム リーダー	2012.4～14.3	
中山 英明	三菱マテリアル(株) セメント事業カンパニー 生産部 セメント 研究所 コンクリートグループ グループリーダー	2014.9～16.3	
高尾 昇	三菱マテリアル(株) セメント事業カンパニー 生産部 セメント 研究所 コンクリートグループ 主任研究員	2012.4～14.10	
(一社)セメン ト協会研究 所	佐藤 智泰	コンクリート研究グループ グループリーダー	2012.4～16.3
	吉本 徹	コンクリート研究グループ サブグループリーダー	2012.4～16.3
	島崎 泰	コンクリート研究グループ サブグループリーダー	2012.4～16.3
	瀧波 勇人	コンクリート研究グループ 研究員	2013.4～16.3

太平洋セメント(株)	梶尾 聡	中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装技術チーム リーダー	2012.4~16.3
	石田 征男	中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装技術チーム 主任研究員	2012.4~16.3
	岸良 竜	中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装技術チーム 副主任研究員	2012.4~16.3
	松本 健一	中央研究所 第2研究部 コンクリート舗装技術チーム 副主任研究員	2012.4~15.3
日本道路(株)	中原 大磯	技術研究所 第一研究室長	2012.4~16.3
	加藤 学	技術研究所 主任研究員	2013.4~16.3
	常松 直志	技術研究所 副主任研究員	2013.4~16.3

---

共同研究報告書  
Cooperative Research Report of PWRI  
No. 482 March 2016

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課  
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754