

粗骨材の最大寸法が 20mm の舗装用コンクリートにおける曲げ破壊確率と疲労破壊回数の関係

セメント協会 正会員 ○伊藤 孝文
 トクヤマ 正会員 新見 龍男
 セメント協会 正会員 吉本 徹
 広島大学名誉教授 名誉会員 佐藤 良一

1. 目的

舗装用コンクリートに用いられる粗骨材の最大寸法は、構造用コンクリートとは異なり、40mm の場合が多い。そのため、舗装標準示方書で規定されている曲げ強度の寸法効果式と設計曲げ疲労曲線は粗骨材最大寸法（以下、骨材寸法）40mm の一般的な舗装用コンクリートを用いた実験結果に基づき導出されたものである。そのため、40mm 骨材が入手困難な都市部等で用いられつつある骨材最大寸法 20mm の舗装用コンクリートへの適用性は必ずしも明確ではない。筆者らは、骨材最大寸法の違いが舗装用コンクリートの曲げ破壊特性に与える影響について破壊力学的検討を行い¹⁾、骨材寸法 20mm, 40mm のいずれも 150×150×530mm 供試体による曲げ強度で正規化した寸法依存性の解析値は実測値とほぼ同等で、骨材寸法の差異による寸法依存性はほとんど認められないことを確認した。

本検討では、骨材寸法の違いが舗装用コンクリートの曲げ疲労特性に与える影響について把握するため、骨材寸法 20mm の舗装用コンクリートにおける曲げ疲労試験を実施し、骨材寸法 40mm のコンクリートを使用した既往の研究²⁾と比較を行った。なお、本検討は（一社）セメント協会 コンクリート舗装の長寿命化・信頼性向上技術検討会の成果の一部である。

2. 試験概要

コンクリートの配合は、既往の研究²⁾の結果と比較するため、骨材寸法以外の配合条件を同一になるよう考慮した。すなわち、水セメント比と細・粗骨材の産地、粗骨材のかさ容積および目標スランプ、空気量を同一にした。なお、使用した粗骨材の密度は 2.65g/cm³、すりへり減量は 11.7%（既往の研究²⁾はそれぞれ 2.64g/cm³、12.8%）である。コンクリートの配合を表-1 に示す。曲げ疲労試験に用いた供試体寸法は 150×150×530mm (H150)、300×200×1200mm (H300) の 2 水準とした。最大応力は実験より得られた平均曲げ強度に対して 70%, 80% および 90%（応力比 0.7, 0.8 および 0.9）の 3 水準とし、H300 の応力比 0.7 の曲げ疲労試験は今後着手予定である。

表-1 コンクリート配合

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)			
	水	セメント	細骨材	粗骨材
42	158	376	587	1200

目標スランプ：6.5cm，目標空気量：4.5%

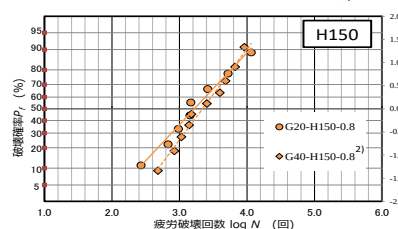


図-1 曲げ破壊確率と疲労破壊回数の関係 (H150, 応力比 0.8)

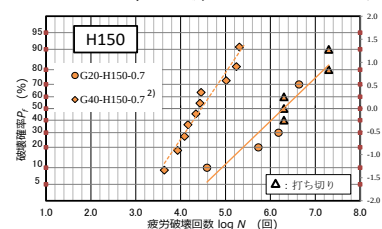


図-2 曲げ破壊確率と疲労破壊回数の関係 (H150, 応力比 0.7)

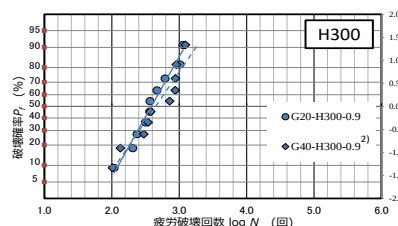


図-3 曲げ破壊確率と疲労破壊回数の関係 (H300, 応力比 0.9)

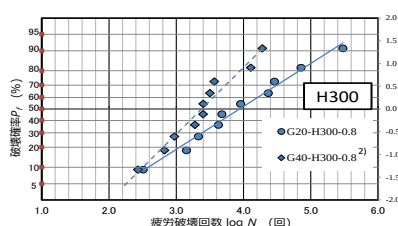


図-4 曲げ破壊確率と疲労破壊回数の関係 (H300, 応力比 0.8)

3. 試験結果

図-1～図-4 に破壊確率と疲労破壊回数の関係に及ぼす骨材最大寸法の影響の一例を示す。同一供試体寸法・応力比で比較すると、骨材寸法 20mm の舗装用コンクリートの疲労破壊回数は骨材寸法 40mm のそれと比べて同程度かそれ以上であることが分かる。特に、図-4 の結果に着目すると、H300 の応力比

キーワード 舗装用コンクリート，骨材寸法，曲げ疲労試験，引張軟化

連絡先 〒114-0003 東京都北区豊島 4-17-33 （一社）セメント協会 研究所 コンクリート研究グループ TEL:03-3914-2695

0.8 の曲げ疲労試験において、骨材寸法 40mm の疲労破壊回数の範囲が 300 回～20,000 回程度であるのに対して、骨材寸法 20mm の場合は 300 回～300,000 万回程度と疲労破壊回数の範囲が大きくなっていることが分かる。この要因としては、曲げ疲労試験の繰り返し載荷時における引張軟化の有無が関係していることが推察される²⁾。そこで、骨材寸法と引張軟化域の関係について検討を行った。

4. 考察

表-2 に引張軟化の有無を検討するために必要となる各種物性値を示す。なお、本検討における $f_t = 4.67$ [N/mm²] は推定値であり、断面法における最大曲げモーメントを断面係数で除した値が実験値の $f_b = 6.32$ [N/mm²] となるように求めた値である。また、表-2 に示すその他の値はいずれも実験値である。

図-5 に本検討と既往の研究²⁾における H300 の応力比 0.8 における断面内応力分布を示す。応力分布は既往の研究³⁾を参考に、平面保持の仮定のもと、伝達応力・ひずみ関係と表-2 に示すコンクリートの各種物性値を用いて、断面法により算定して求めた。40mm 骨材では引張軟化が発生しているのに対して、20mm 骨材では引張軟化は発生していないものの、引張縁応力が 4.47 [N/mm²] と引張強度の 97.6% まで達している。このため、図-4 に示す骨材寸法 20mm の H300 の応力比 0.8 の曲げ疲労試験においては、供試体の曲げ強度のばらつきにより、引張軟化が発生し比較的早期に破壊する供試体と、引張軟化が発生せずに疲労破壊回数が多くなる供試体が混在していたため、疲労破壊回数の範囲が骨材寸法 40mm のそれと比較して大きくなったと考えられる。

この断面法により軟化領域を整理した結果を表-3 に示す。図-2 に示した H150 の応力比 0.7 の曲げ疲労試験においても 20mm 骨材の疲労破壊回数は 40mm 骨材のそれと比べて大きい結果となっており、これは上述した通り、曲げ疲労試験時における引張軟化の有無、すなわち引張強度が影響していることが表-3 より確認できる。

5. まとめ

以上より、骨材寸法 20mm の舗装用コンクリートの曲げ疲労破壊回数は、骨材寸法 40mm の舗装用コンクリートと同程度以上であることを実験的に明らかにし、この原因は、引張軟化の有無と引張強度に対する引張応力比によって説明することができた。本検討の範囲では、骨材寸法 20mm を用いた舗装用コンクリートの疲労特性は、骨材寸法 40mm を用いたそれよりも同等以上であると推察された。

【参考文献】

1) 伊藤ほか、粗骨材の最大寸法が 20mm の舗装用コンクリートにおける曲げ強度の破壊力学的検討，令和 2 年度土木学会全国大会，V-289 (2020)
2) 吉本ほか、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 E1，Vo76，No. 1，p18-35(2020)
3) 内田ほか、コンクリートの曲げ強度の寸法効果に関する破壊力学的検討，土木学会論文集，No. 442/V-16，pp101-107 (1992)

表-2 各種物性値

	曲げ強度 (H150) (N/mm ²)	割裂引張 強度 (N/mm ²)	弾性係数 (GPa)	破壊 エネルギー (N/mm)	特性長さ (= $GF \times Ec / ft^2$) (m)
	f_b	f_t	E_c	G_F	l_{ch}
本検討 20mm骨材	6.32	4.67※	28.0	0.285	0.36
既往の研究 ²⁾ 40mm骨材	5.38	3.53	29.4	0.313	0.74

※：4.67のみ推定値。その他は実験値を表す

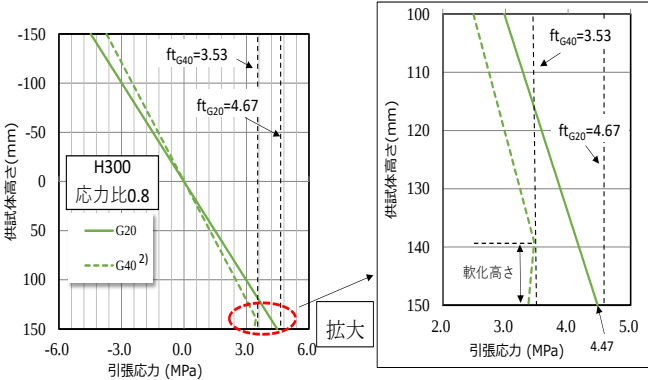


図-5 H300 供試体の応力比 0.8 時の応力分布

表-3 軟化領域
(供試体高さに対する軟化高さ)の割合

供試体 寸法	骨材寸法	応力比		
		0.9	0.8	0.7
H150	20mm	19/150=12.7%	7/150=4.7%	0% (0.95※)
	40mm ²⁾	31/150=20.7%	16/150=10.7%	4/150=2.6%
H300	20mm	17/300=5.7%	0% (0.97※)	0% (0.86※)
	40mm ²⁾	37/300=12.3%	11/300=3.7%	0% (0.96※)

※軟化領域が0%の場合は引張強度に対する引張応力の比を括弧内に付記