

# 論文 中品質再生骨材の RC はりへの適用性評価

黒瀬 英樹\*1・橋本 紳一郎\*2・江本 幸雄\*3・吉里 哲郎\*4

**要旨:** 再生粗骨材 M の品質が RC はりに及ぼす影響を検討することを目的として、再生骨材 M でも高品質、低品質の骨材を製造し、それらを用いた諸性状試験及び RC はりの静的載荷試験及び繰返し載荷試験を行った。その結果、静的載荷及び繰返し載荷試験において再生骨材 M を使用した場合でも、高品質であれば砕石を用いたはりと同等の曲げ耐力を持つことが明らかになった。また、本研究では静的載荷における破壊形式が異なり、同じ JIS 範囲内の再生骨材 M で検討した結果でも破壊形式が異なる可能性が示された。静的載荷及び繰返し載荷におけるひび割れ性状は再生骨材 M を使用しても、砕石を用いた場合とほぼ同じであった。  
**キーワード:** 中品質再生骨材, 繰返し載荷試験, ひび割れ性状, RC はり

## 1. はじめに

コンクリート構造物の解体によって発生するコンクリート塊は 2005 年度で約 3200 万 t 発生している。その再資源化率は 98% と高い水準を誇っているが、ほとんどが舗装用の路盤材や埋戻し材に使用されている。

今後、道路の新設工事が減少していくことを考えるとコンクリート用再生骨材としての利用の拡大が望まれる。

現在、コンクリート用再生骨材は JIS で絶乾密度・吸水率などの違いにより H, M, L の 3 種類に分類しており、品質の違いで使用箇所や用途が定められている。

再生骨材 H は通常の天然骨材と同等の品質を有することから、砕石・砕砂・砂利・砂と同様に扱うことが可能とされているが、生産コストが高く需要の拡大が望めないというのが現状である。また製造の際に大量に発生する副産微粉の問題もある。

一方、再生骨材 H, L の中間の品質である再生骨材 M は製造コストが再生骨材 H に比べ安価であり、製造の際の副産微粉の発生も少ないため普及が期待されているものの、再生骨材 M を用いた研究例が少なく、耐久性や耐荷特性の知見がほとんどない<sup>1)</sup>。また、同じ再生骨材 M でも JIS の定める吸水率や絶乾密度には幅がありその検討はほとんどされていない。このようなことから再生骨材の構造物への適用例はほとんどが再生骨材 H であり、品質のやや劣る再生骨材 M を用いたコンクリート構造物の実地例は少ない<sup>2)</sup>。

以上から、本研究では再生骨材 M に焦点を絞り、再生骨材 M の中でも高品質の骨材と低品質の骨材で物性およびコンクリートの硬化性状をシリーズ 1 で検討した。なお、比較用として再生骨材 H, 再生骨材 L, また砕石を用いた。

シリーズ 2 として RC はりを作製し、静的載荷試験及び繰返し載荷試験後に静的載荷試験を行い、砕石を用いた RC はりと実験的に比較することにより、再生骨材の品質が耐荷特性及び、ひび割れ性状に及ぼす影響を把握することを目的とした。

## 2. 実験概要 (シリーズ 1)

### 2.1 使用材料

本研究で使用した材料を表-1 に示す。再生骨材 M は 3 種類のうち、1 種類はスクリー磨砕装置によって製造されたもの (MS) を使用し、残る 2 種類は、絶乾状態にした再生骨材 L をロサンゼルス試験機にかけ製造した。この 2 種類については製造条件を変え、再生骨材 L に近い低品質のもの (ML) と再生骨材 H に近い高品質 (MH) とした。再生骨材 H も同様にロサンゼルス試験

表-1 使用材料

使用材料		物性及び成分	
セメント	高炉セメント	密度 3.04g/cm <sup>3</sup> , 比表面積 3950cm <sup>2</sup> /g	
細骨材	海砂	表乾密度 2.58g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.83%	
粗骨材	砕石 2005	記号	N
	低品質再生骨材		L
	中品質再生骨材		MS
	高品質再生骨材		ML
			MH
			H
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸系	
	AE剤	アルキルエーテル系	

表-2 ロサンゼルス試験機による再生骨材の製造条件

品質	鉄球(個)	回転数(回)	骨材投入量(kg)
ML	0	150	70
MH	12	1500	30
H	12	1500	20

\*1 福岡大学 工学研究科建設工学専攻 博士課程前期 (正会員)

\*2 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 助教 工博 (正会員)

\*3 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 教授 工博 (正会員)

\*4 樋口産業(株) 事業部

表-3 コンクリートの配合

使用粗骨材	水セメント比W/C(%)	細骨材率S/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						実測スランブ(cm)	実測空気量(%)		
			水W	セメントC	細骨材S	粗骨材G	AE減水剤	AE剤				
L	55	45	170	309	793	925	3.09	2.78	10.5	4.5		
MS						951		3.09			13.5	4.1
ML						943		2.47			11.5	4.3
MH						981		2.16			10.5	4.5
H						1000		1.85			12.5	4.3
N						1045		1.55			10	4.1

機にかけることで作製した。再生骨材Lはジョークラッシュャーによって製造されたものを使用した。この再生骨材Lは購入したものであるため、現コンクリートの詳細については明らかでない。ロサンゼルス試験機による再生骨材の製造条件を表-2に示す。なお、Hについては粒度分布を外れたため粒度調整を行った。

2.2 試験項目

使用した再生骨材について、密度及び吸水率試験(JIS A 1123)、ふるい分け試験(JIS A 1102)、実積率試験(JIS A 1104)、さらに骨材自体の強度を調べるために破砕値試験を行った。破砕値は(BS812-1990)を参考に、各粗骨材中の直径10~15mmの骨材を試料とし、絶乾状態にして10分間で400kNまで载荷した後の直径2.5mm以下の試料が载荷前の全試料に占める質量百分率として式(1)より求めた。

破砕値

$$= \frac{\text{载荷後2.5mmふるいを通過する試料の質量}}{\text{载荷前の10~15mmの試料の質量}} \times 100 \quad (1)$$

また、コンクリートについてスランブ試験(JIS A 1115)、空気量試験(JIS A 1128)、圧縮強度試験(JIS A 1108)、割裂引張強度試験(JIS A 1113)、曲げ強度試験(JIS A 1106)、静弾性係数試験(JIS A 1149)を行った。

コンクリートの配合を表-3に示す。目標スランブ値は12±2cm、空気量は4.5±0.5%とした。コンクリート練り上がり後、φ10×20cmの円柱供試体を作製した。打設後、24時間で脱型し、試験時まで湿布養生を行った。圧縮強度、曲げ強度、引張強度、静弾性係数試験は材齢28日で行った。

3. 結果及び考察 (シリーズ1)

3.1 骨材の物性

表-4に骨材の物性を示す。粒径判定実積率を比較すると、再生骨材Mは再生骨材Lに比べ全て大きな値を示した。これは再生骨材Mを製造する際にモルタル分が除去され、角張りが取れるためと考えられる。また、MS

表-4 骨材の物性

	L	MS	ML	MH	H	N
最大寸法(mm)	20	20	20	20	20	20
絶乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.32	2.41	2.40	2.52	2.59	2.76
表乾密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.46	2.53	2.51	2.61	2.66	2.78
吸水率(%)	5.87	4.82	4.89	3.40	2.44	0.59
粗粒率	6.80	6.75	6.57	6.43	6.50	6.98
粒径判定実積率	59.3	62.1	58.3	60.5	60.5	58.2
破砕値(%)	23.4	18.3	24.3	17.0	14.1	10.9

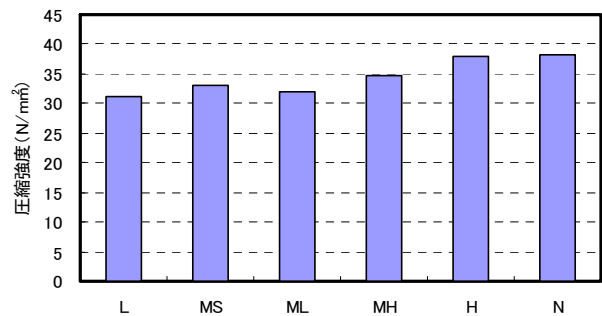


図-1 コンクリートの圧縮強度

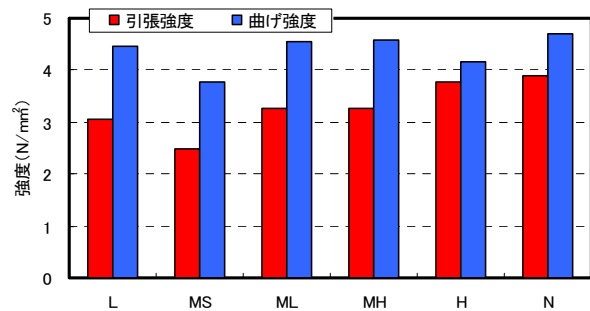


図-2 コンクリートの引張強度と曲げ強度

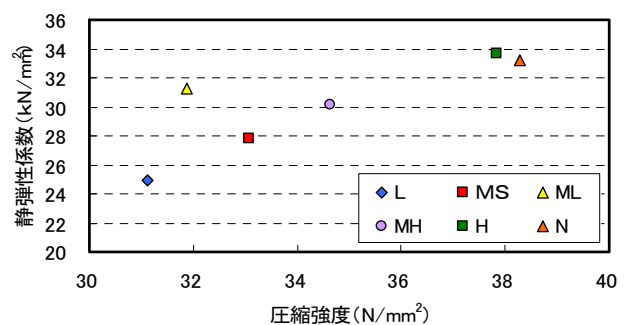


図-3 圧縮強度と静弾性係数の関係

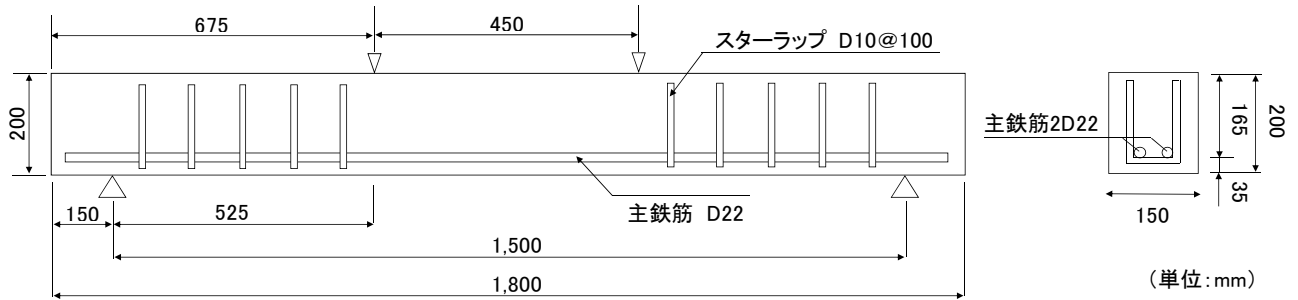


図-4 供試体の形状寸法および荷位置

と ML では絶乾密度・吸水率が同程度であるにも関わらず、結果に差が出たことから、製造方法により粒形は大きく差が出てくることが分かる。

破砕値については、既往の研究どおり再生骨材は碎石に比べ大きな値を示した<sup>3)</sup>。3種類の再生骨材 M を比較すると、同じ品質に分類されても、原骨材の違いや製造の処理回数で骨材の強度に差が出ることを確認できた。

### 3.2 コンクリートの硬化性状

図-1 に圧縮試験結果を示す。N と H はほぼ同じ強度となった。一方、再生骨材 M 用いたコンクリートの圧縮強度は碎石を使用したコンクリートに対して 8~9 割程度となり、L でも 8 割の強度が得られた。今回使用した L は、吸水率が再生骨材 L の中でも低い方に位置していたため再生骨材 M を使用した場合と同等の圧縮強度となった。

図-2 に引張強度と曲げ強度を示す。他の再生骨材に比べ MS は圧縮強度においては強度を発揮しているにも関わらず、引張強度、曲げ強度は低下した。これは MS の付着モルタルによる付着強度の低下が原因と考えられる。

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-3 に示す。再生骨材を使用すると静弾性係数は低下することが報告されているが<sup>3)</sup>、本研究では低下しなかった。このことより今後、再生骨材 M を用いたデータの蓄積が必要である。

## 4. 実験概要(シリーズ 2)

### 4.1 使用材料

使用材料及び配合は粗骨材 MS の他、全てシリーズ 1 と同様とした。

### 4.2 供試体作製方法

コンクリートの締固めは全て内部振動機で行った。養生は脱型後、濡らした布で覆いその外側をさらに養生マットで被覆して行った。

### 4.3 供試体の寸法および荷位置

図-4 に供試体の形状寸法および荷位置を示す。表-5 には供試体の形状寸法および諸元を示す。

表-5 供試体の形状寸法および諸元

全長 L (mm)	幅 b (mm)	有効高さ d (mm)	かぶり c (mm)	鉄筋径 D (mm)	せん断スパン a (mm)	せん断スパン比 a/d
1800	150	155	37	D22	625	3.4

表-6 コンクリートの 14 日圧縮強度

使用粗骨材	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
L	20.8
ML	21.6
MH	22.7
H	24.3
N	24.9

表-7 供試体の最大荷重と破壊形式

供試体	スターラップの有無	最大荷重 (kN)	破壊形式
L-1	無し	68.0	せん断付着
ML-1		67.6	せん断付着
MH-1		69.6	せん断付着
H-1		78.2	せん断付着
N-1		83.1	せん断付着
L-2	有り	130.2	曲げ引張り
ML-2		131.4	曲げ引張り
MH-2		141.8	せん断付着
H-2		147.2	曲げ引張り
N-2		154.0	曲げ引張り

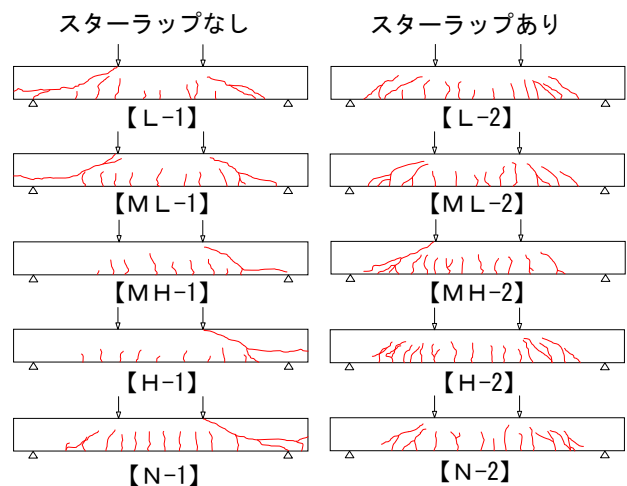


図-5 荷試験終了時のひび割れ発生状況

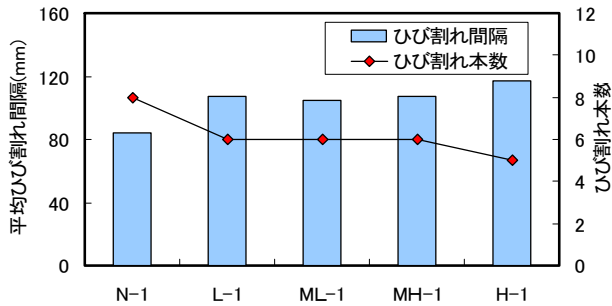


図-6 スターラップを配置していない供試体のひび割れ間隔とひび割れ数

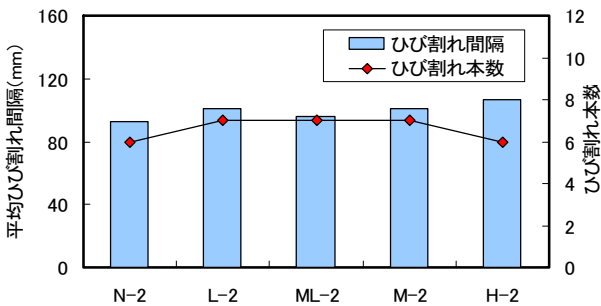


図-7 スターラップを配置した供試体のひび割れ間隔とひび割れ数

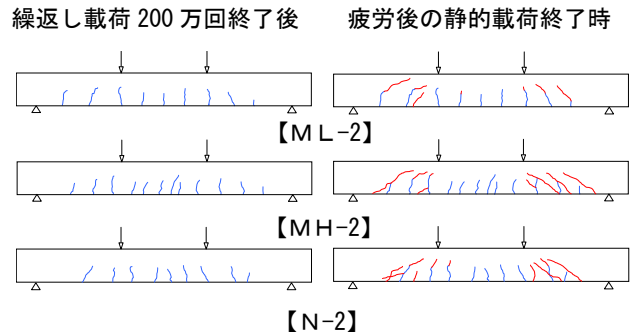


図-8 荷重試験終了時のひび割れ発生状況

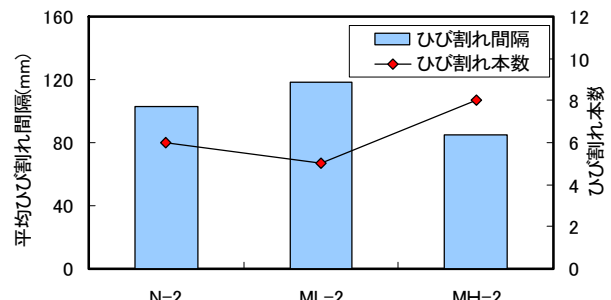


図-9 疲労後のひび割れ間隔及びひび割れ数

#### 4.4 荷重試験方法

荷重試験は打設後 14 日で行った。表-6 にコンクリートの 14 日圧縮強度を示す。静的荷重試験は、単純梁の対称 2 点集中荷重とし、最大荷重 300kN の荷重装置を用い、荷重制御で行った。なお、スターラップを配置した供試体と、配置していない供試体で行っている。

繰返し荷重試験は ML-2、MH-2、N-2 のスターラップを配置した供試体について行った。サイクル数は 200 万回とし、荷重の上限値を 43kN、下限値を 10kN とした。荷重位置は静的荷重試験と同様である。200 万回繰返し荷重終了後、破壊までの静的荷重試験を行った。

### 5. 結果および考察 (シリーズ 2)

#### 5.1 破壊形式及びひび割れ性状

##### (1) 静的荷重試験

図-5 に荷重試験終了時のひび割れ発生状況を示す。スターラップを配置した供試体は MH-2 のみせん断破壊した。残りの供試体は曲げ圧縮部のコンクリートが圧壊し、曲げ引張破壊となった。MH は使用した骨材の中で粗粒率が最も低く、粒径の細かい骨材が多い。よって、供試体内部の再生骨材がモルタル部分と接する表面積が最も多くなる。コンクリートのひび割れは、マイクロクラックによって進展する<sup>5)</sup>。マイクロクラックには骨材自体を破壊して進む骨材クラック、または骨材を破壊

せずその界面で進行していくボンドクラック、モルタルを破壊して進むモルタルクラックとに分けられる。中でもボンドクラックはせん断応力によって発生するといわれている。今回の破壊形式からすると、MH-2 は供試体に占める骨材界面が最も多いため、ボンドクラックが発生しやすい状態にあり、曲げ破壊ではなくせん断破壊したと考えられる。また、粒形が丸く角張りが少ないため付着強度が低下していること、再生骨材は普通骨材に比べ強度が低いことも要因に挙げられる<sup>6)</sup>。今回の実験範囲内では、再生骨材の品質や粒度によっては破壊形式が異なる可能性が示された。なお、スターラップを配置していない供試体は全てせん断破壊した。

図-6 にスターラップを配置していない供試体のひび割れ数と平均ひび割れ間隔を示す。ひび割れ本数は、側面鉄筋位置で観察された本数である。平均ひび割れ間隔は最下端におけるひび割れの間隔をそれぞれ平均したものである。なお、等曲げ区間を 50mm 以内に外れたひび割れであれば、それも含めた。平均ひび割れ間隔は砕石に比べ再生骨材を使用した方が大きくなるのが分かった。また、再生骨材の品質による大きな差異は見られなかった。ひび割れ本数は再生骨材を使用することで少なくなった。

図-7 にスターラップを配置した供試体のひび割れ間隔とひび割れ本数を示す。砕石のひび割れ間隔がスター

ラップを配置していないときに比べ大きくなり、再生骨材を使用した場合と同程度となったのに対し、再生骨材を使用したことによるひび割れ間隔の変化はほとんど無かった。ひび割れ本数においては、全ての供試体において同程度となった。

## (2) 繰返し载荷試験

200 万回繰返し载荷試験終了後と、その後の静的载荷試験後のひび割れ発生状況を図-8 に、疲労後のひび割れ間隔及びひび割れ数を図-9 に示す。図-8 の青線は繰返し载荷によって生じたひび割れを、赤線は静的载荷によって生じたひび割れを表す。砕石、再生骨材とも曲げ区間のひび割れは疲労時に形成され、静的载荷時にはひび割れ進展の他、新たなひび割れは形成されなかった。MH-2 に関しては N-2, ML-2 に比べひび割れの数が多く、平均ひび割れ間隔が小さくなった。なお、MH-2 は曲げ破壊となりせん断破壊とはならなかった。このことから静的载荷と繰返し荷重を加えた後の载荷では破壊メカニズムが異なることが分かる。

## 5.2 荷重-たわみ関係

図-10, 図-11 に静的载荷試験時の荷重とたわみの関係を、図-12 に疲労後の静的载荷試験による荷重とたわみの関係を示す。L-1, ML-1, MH-1, については同様の挙動を示した。しかし、H-1 においては同一荷重におけるたわみ量が他の供試体に比べ小さくなり、曲線の傾きが大きくなった。再生骨材 H は付着しているモルタル分が再生骨材 M, 再生骨材 L に比べ少ないことが影響していると考えられる。また、同程度の圧縮強度を持つ N と H を比較すると終局におけるたわみに量に 1.3mm ほど差が生じた。これは再生骨材の使用でコンクリートのじん性が低くなることを示している。

スターラップを配置した場合は骨材の品質が低下するほど、曲線が緩やかになった。ML-2 と MH-2 ではその差は顕著に現れ、同じ再生骨材 M にクラス分けされた再生骨材でも、砕石と同等のじん性を示すものと、再生骨材 L と同程度のじん性を示すものとに分かれた。図-12 より、疲労後に静的载荷試験を行った供試体も同様の結果が得られ、疲労によるたわみ曲線の変化というのは確認されなかった。今回は、繰返し载荷回数、繰返し上限加重を一定で行っており、载荷回数など条件を変えて試験を行うことを今後の課題としたい。

## 5.3 繰返し载荷試験による再生骨材の影響

図-13 にたわみと繰返し载荷回数との関係を示す。载荷回数に比例して、たわみ量が増加しているのが分かる。これらを近似直線で結び傾きを求めたところ、同様の値を示したことから载荷回数におけるたわみの増加量は骨材の品質によらず同程度といえる。

圧縮縁のひずみと繰返し载荷回数との関係を図-14

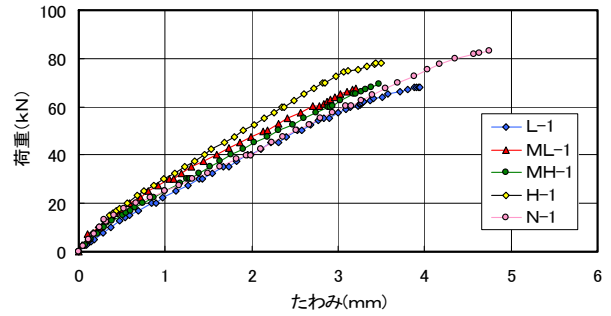


図-10 荷重-たわみ関係 (スターラップなし)

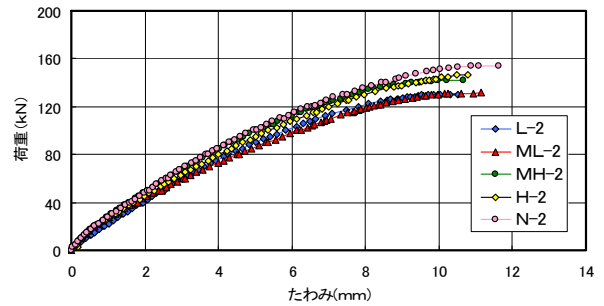


図-11 荷重-たわみ関係 (スターラップあり)

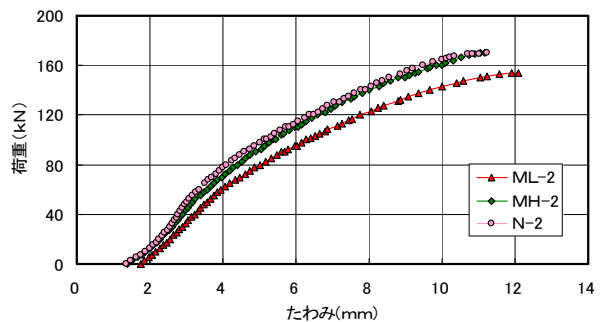


図-12 荷重-たわみ関係 (疲労後の静的载荷試験)

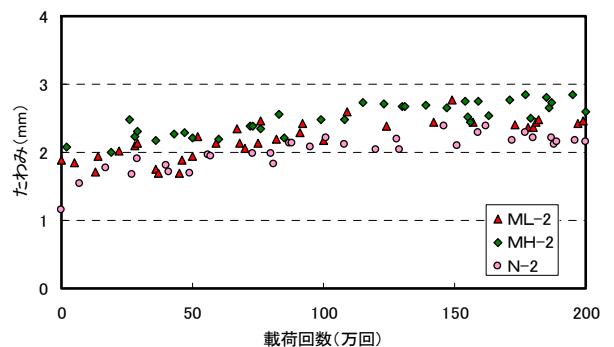


図-13 たわみと繰返し载荷回数の関係

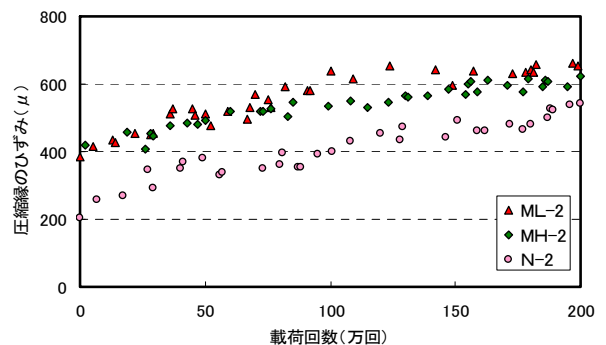


図-14 圧縮縁のひずみと繰返し载荷回数との関係

に示す。ML-2 と MH-2 は載荷回数に伴い同様のひずみ増加量を示した。N-2 に関してもひずみ増加量は再生骨材と同様の増加量を示したが、同一載荷回数におけるひずみ量には常時 150 $\mu$  ほどの差が生じた。

図-15 に荷重-スターラップひずみを示す。0kN 地点で ML-2, N-2 のひずみはほぼ 0 に対し、MH-2 は疲労により、ひずみが増大した。ML-2, MH-2 は 80kN でひずみが増加しているのに対して、N-2 は 95kN からひずみが増大し始めた。ML-2, MH-2 を N-2 と比較すると、同一荷重におけるひずみの値が大きくなり、最大荷重時のひずみが大きくなった。これは再生骨材を使用することで、せん断ひび割れ発生荷重が小さくなったことが要因に挙げられる。

図-16 に静的載荷試験及び繰返し載荷試験後に静的載荷を行った供試体における N-2 との耐力比を示す。静的載荷試験は ML-2 で 15%, MH-2 で 8% 程度の耐力低下となった。しかし、疲労を加えたものは静的載荷試験に比べ、耐力の低下率が減少した。特に MH-2 においては N-2 と

同等の耐力を示し、再生骨材 M でも高品質であれば、疲労に対する影響を改善できることが確認できた。

## 6. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 品質の異なる再生骨材 M を使用したコンクリートを比較した際、圧縮強度が同等に発揮されても曲げ強度、引張強度には差が現れる。
- (2) 再生骨材 M でも高品質のものは、スターラップを配置したはり供試体において、砕石を使用した場合と同等の曲げ耐力を示した。
- (3) 原骨材が同じで処理回数の異なる再生骨材を使用した場合、同じ再生骨材 M でも粒形や粒度分布の違いで破壊形式が異なる可能性がある。
- (4) 再生骨材の使用において、繰返し載荷を加えたものと加えない供試体では、静的載荷における破壊メカニズムが異なる。
- (5) RC はりに再生骨材を使用した場合、再生骨材の品質がひび割れ性状に及ぼす影響はほとんど見られず、同様のひびわれ性状を示した。また、砕石に比べひび割れ間隔が若干小さくなるものの、大きな違いは見られなかった。
- (6) 繰返し荷重をかけ静的載荷試験を行った場合、再生骨材 M の品質が低品質であれば砕石に対して曲げ耐力は低下するが、高品質であれば砕石を使用した場合と同等の曲げ耐力を有する。

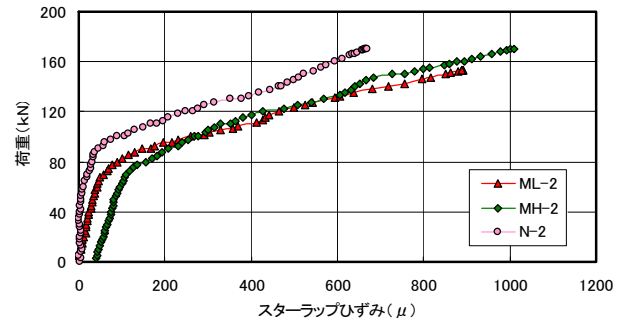


図-15 荷重-スターラップひずみの関係

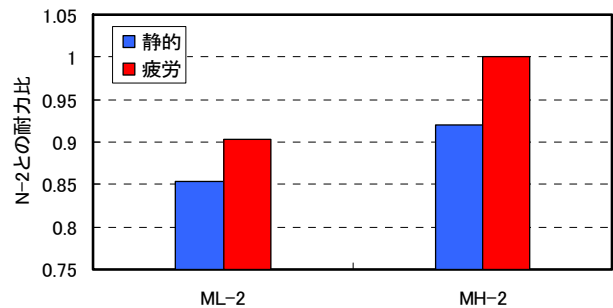


図-16 N-2 との耐力比

## 参考文献

- 1) 三方泰弘, 高橋勇希, 井上晋: 再生骨材 M を用いた RC はり部材のせん断耐荷特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, 2008
- 2) 川西泰一郎, 依田和久, 新谷彰: 高品質および中品質再生粗骨材を用いたコンクリートの RC 造建築物への適用, コンクリート工学, Vol.45, No.4, pp.38-44, 2007.4
- 3) 江本幸雄, 大和竹史, 添田政司: 再生骨材の品質および再生骨材コンクリートの性状に関する研究, 土木学会第 46 回年次学術講演会, V-273, pp.562-563, 1986.9
- 4) 佐藤良一, 許明, 菌部基信, 宮崎理彦: 高品質再生粗骨材を用いた RC 部材の力学特性, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.430-437, 1998.2
- 5) 吉本彰: コンクリートの変形と破壊, 学献社, 1990
- 6) 野間康隆, 三木朋広, 二羽淳一郎: 再生骨材を用いたコンクリートのひび割れ進展挙動に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, 2007