

論文 再生骨材M, Hを用いたRCはり部材のせん断耐荷特性

三方 康弘*1・高橋 勇希*2・井上 晋*3

要旨: 再生骨材の品質がRCはり部材のせん断耐荷特性に及ぼす影響を検討することを目的として、再生骨材M, Hを用いたRCはり部材の載荷試験を行い、土木学会のせん断耐力式による計算値と比較検討を行った。その結果、再生骨材Mを用いた場合は再生骨材Hを用いた場合と比較して、骨材に付着しているモルタル分が多いことからコンクリートの引張強度が低下し、圧縮強度の引張強度に対する比である脆度係数が大きくなる傾向を示した。また、再生骨材の利用によるせん断耐力の低減の影響について、脆度係数の逆数をパラメータとした関数を用いることにより、評価することが可能であると考えられる。

キーワード: 再生骨材, せん断, 骨材の品質, RCはり部材

1. はじめに

コンクリート用再生骨材は、JIS 制定され普及が期待されている。JIS では再生骨材を絶乾密度や吸水率等の品質により、再生骨材 H, M, L の3種類に分類している。

再生骨材Hは普通骨材とほぼ同様の取り扱いが可能であり適用範囲は広いが、製造時のエネルギー消費が大きく、コストが高いことから普及が進んでいないのが現状である。また、製造時に多くの副産物が発生する問題点を抱えている。

一方、再生骨材MはH, Lの中間の品質で製造コストはHより安く、製造時の副産物も少ないことから着目されているものの、乾燥収縮や凍結融解の影響が懸念されることに加えて、再生骨材Mを用いたコンクリート部材の耐荷特性に関する知見¹⁾が少ないこと等から、適用部位は杭・基礎に限定されているのが現状である²⁾。

また、土木学会 電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案)³⁾では、再生骨材の利用によるせん断耐力の低減の影響を表す係数を提案しているものの、骨材の品質に関係なく、一律の低減係数を設定しているため、合理的な設計ができていないのが現状である。

このような背景から、再生骨材の品質がRCはり部材のせん断耐荷特性に及ぼす影響について検討することを目的として、再生骨材M, Hを用いたRCはり部材を作成し載荷試験を実施し、さらに、再生骨材を利用した場合のせん断耐力式による計算値と比較検討を行った。

2. 実験概要

2.1 実験要因

実験要因として、(1) 細骨材の種類: 普通細骨材(大

阪府枚方産の川砂)、再生細骨材M(京阪神地域のRC建造物から得られたコンクリート廃材を再生骨材として使用)の2種類を選定した。(2) 粗骨材の種類: 普通粗骨材(大阪府高槻産の碎石)、再生粗骨材M(京阪神地域のRC建造物から得られたコンクリート廃材を再生骨材として使用)、再生粗骨材H(関東地域のRC建造物から得られたコンクリート廃材を再生骨材として使用)の3種類を選定した。(表-1参照)(3) せん断補強筋の有無: 有り(配置間隔s=140mm, せん断補強筋比 $\rho_s=0.45\%$)、無し²⁾の2種類を選定した。これらの実験要因から合計8体の供試体を作成した。供試体の詳細を表-2に示す。

2.2 骨材とコンクリートの物理的特性

骨材の物理的特性を表-1に、コンクリートの示方配合を表-3に、コンクリートの物理特性を表-4に示す。

再生細骨材M, 再生粗骨材Mは湿式磨砕工程と湿式浮遊比重選別工程²⁾により作成された。一方、再生粗骨材Hは偏心ロータ方式⁴⁾により作成された。セメントには早強セメント、混和剤にはAE減水剤を用いた。

2.3 供試体諸元

供試体の断面形状を図-1に、側面図を図-2に示す。

表-1 骨材の物理特性

骨材の種類		表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率 FM
細骨材	普通	2.56	—	1.34	3.14
	再生M	2.46	2.35	4.60	2.85
粗骨材	普通	2.66	—	0.81	6.56
	再生H	2.68	2.63	1.78	6.50
	再生M	2.41	2.33	3.20	6.49

*1 大阪工業大学 工学部都市デザイン工学科講師 博(工) (正会員)

*2 大阪工業大学大学院 工学研究科都市デザイン工学専攻 (正会員)

*3 大阪工業大学 工学部都市デザイン工学科教授 博(工) (正会員)

表-2 供試体の詳細および実験結果

実験概要				実験結果			
供試体	*1 細骨材	*1 粗骨材	せん断補強筋の有無	*2 曲げ破壊荷重 (計算値) P _{ub} (kN)	*3 せん断破壊荷重 (計算値) P _{us} (kN)	最大荷重 (実測値) P _u (kN)	破壊形式
				NN-1	普通		
MN-1	再生M	普通	無	68.7	34.9	60.5	せん断付着
MM-1	再生M	再生M	無	69.0	34.8	56.8	せん断付着
MH-1	再生M	再生H	無	68.9	39.0	54.9	せん断付着
NN-2	普通	普通	有	68.3	105.3	73.5	曲げ引張
MN-2	再生M	普通	有	68.7	92.6	73.2	曲げ引張
MM-2	再生M	再生M	有	69.0	92.5	76.4	曲げ引張
MH-2	再生M	再生H	有	68.9	96.7	76.2	曲げ引張

*1 再生M：再生骨材M (JIS A 5022)，再生H：再生骨材H (JIS A 5021)，普通：普通骨材

*2 断面分割法による曲げ解析を用いた。なお、応力ひずみモデルは土木学会コンクリート標準示方書による。

*3 P_{us}=2(V_{cd}+V_{sd})，(V_{cd}は式(2)，V_{sd}は土木学会コンクリート標準示方書による)ただし、計算に用いるコンクリートや鉄筋の強度については実材料値を用い、材料係数や部材係数などの安全係数はすべて1.0とした。

引張鉄筋としてD16 (f_{sy}=331N/mm², E_s=193kN/mm²)を2本、せん断補強筋としてD6 (f_{sy}=432N/mm², E_s=188kN/mm²)を配置した。供試体は全長1800mmに対して曲げスパン300mm、せん断スパン600mmとした(a/d=3.53)対称二点集中荷重方式とした。せん断補強筋を配置してない供試体はせん断破壊先行型、せん断補強筋を配置した供試体はせん断ひび割れの開口に伴う荷重-たわみ曲線への影響の有無や分担せん断力関係について検討するために、曲げ破壊先行型となるように設定した。養生条件は、打設翌日から14日間散水養生を行った後に、屋内にて14日間気中養生を行った。

2.4 比較検討に用いるせん断耐力式

土木学会電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針(案)では、土木学会コンクリート標準示方書⁵⁾のせん断補強筋を用いない棒部材の設計せん断耐力式(式(1))に、再生骨材の利用によるせん断耐力の低減の影響として低減係数β_rを乗じることによりせん断耐力を評価しており、式(2)に示す。なお、曲げ・せん断破壊荷重等の計算に用いるコンクリートや鉄筋の強度については実材料値を用い、材料係数や部材係数などの安全係数はすべて1.0とした。

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b \quad (1)$$

$$V_{cd} = \beta_r \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_b \quad (2)$$

ただし、β_r=0.80(部材が乾燥状態で、再生細骨材のみ使用)、0.70(部材が乾燥状態で、再生粗骨材・再生細骨材ともに使用)

表-3 コンクリートの示方配合

供試体	粗骨材の最大寸法(mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (Kg/m ³)				混和剤 (cc/m ³)
				W	C	S	G	
NN	20	60	47.0	176	293	831	981	733
MN	20	60	47.0	176	293	799	981	733
MM	20	60	47.0	176	293	799	882	733
MH	20	60	47.0	176	293	799	981	733

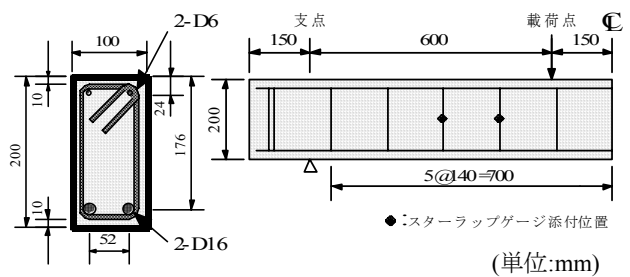


図-1 断面形状

図-2 側面図

3. 実験結果および考察

3.1 コンクリートの物理的特性

コンクリートの物理特性を表-4に示す。細骨材、粗骨材ともに普通骨材を用いたNNシリーズのコンクリートは圧縮強度の引張強度に対する比である脆度係数が13.4であったが、細骨材に再生骨材M、粗骨材に普通骨材を用いたMNシリーズは15.3、細骨材、粗骨材ともに再生骨材Mを用いたMMシリーズは18.5、細骨材に再生骨材M、粗骨材に再生骨材Hを用いたMHシリーズは

16.6 となった。(表-4 参照)

このことから、再生骨材を用いたコンクリートは、骨材に付着したモルタル分の影響により、コンクリートの引張強度が低下し、脆度係数が大きくなること、さらに、再生骨材 M を用いた場合は再生骨材 H を用いた場合と比較して、骨材に付着しているモルタル分が多いことから、その傾向がより顕著になることが言える。

3.2 破壊形式

実験結果ならびに破壊荷重の計算値を表-2に、載荷試験終了後の写真を写真-1に示す。

(1) せん断補強筋を配置していない供試体

MM-1 を除いてせん断ひび割れ発生後、せん断ひび割れ上部のコンクリートと引張鋼材でタイドアーチ的耐荷機構が形成され、その後も荷重に抵抗した。とりわけ、MN-1 については、せん断補強筋を配置していないにもかかわらず、せん断ひび割れ発生以降に最大荷重に達した。それらの供試体は最終的に主鉄筋の付着破壊によるコンクリートの割裂が生じせん断付着破壊に至った。一方、MM-1 はせん断ひび割れが大きく開口すると同時に、主鉄筋の付着破壊によるコンクリートの割裂が生じ、せん断付着破壊に至った。

最大荷重で比較すると、普通骨材を用いた NN-1 は 63.7 kN であるが、細骨材のみに再生骨材 M を用いた MN-1 は 60.5 kN、細・粗骨材ともに再生骨材を用いた MM-1 は 56.8kN、MH-1 は 54.9kN となった。再生骨材を用いたコンクリートは普通骨材を用いたコンクリートと比較して、引張強度が低下し、(表-4 参照) コンクリート負担せん断力が低下したため最大荷重が低下したものと考えられる。

(2) せん断補強筋を配置した供試体

骨材の種類にかかわらず、曲げひび割れから曲げせん断ひび割れに進展したものの、さらに大きな荷重に抵抗し、最終的に曲げ圧縮部のコンクリートが圧壊し、曲げ引張破壊を呈した。曲げ破壊荷重の計算値は最大荷重の実測値をほどよく推測した。このことから、再生骨材コンクリートを用いたはり部材においても、断面分割法により曲げ破壊荷重を適切に推定できることが示された。

3.3 荷重-たわみ関係

(1) せん断補強筋を配置していない供試体

荷重-たわみ関係を図-3に示す。MN-1 は NN-1 と比較して、引張強度が小さいためせん断ひび割れ発生荷重が小さくなり、荷重低下を生じる荷重が小さくなった。しかしながら、両供試体ともにタイドアーチ的耐荷機構が形成され、さらに大きな荷重に抵抗する等、ほぼ同等の挙動を示した。

MM-1 は、MN-1、MH-1 と比較すると、せん断ひび割れの発生による荷重低下を生じる荷重は、ほぼ同じ値を

表-4 コンクリートの物理特性

供試体	圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	引張強度 f_t (N/mm ²)	曲げ強度 f_b (N/mm ²)	ヤング係数 E_c (kN/mm ²)	脆度係数 f'_c/f_t
NN	43.46	3.25	4.96	30.6	13.4
MN	46.79	3.06	4.99	28.3	15.3
MM	50.08	2.71	4.93	31.0	18.5
MH	49.43	2.97	4.96	31.5	16.6

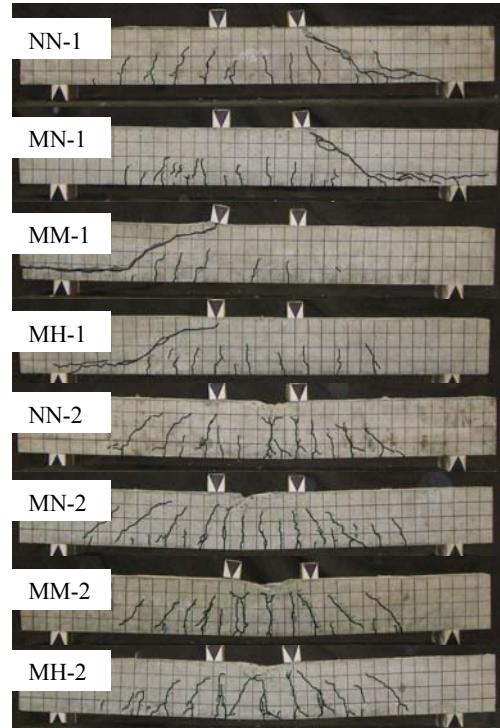


写真-1 載荷試験終了時

示したが、MM-1 はせん断ひび割れの発生により終局に至り、タイドアーチ的耐荷機構が形成されなかった。一方、MN-1 と MH-1 はともにタイドアーチ的耐荷機構が形成され、さらに大きな荷重に抵抗する挙動を示した。MM-1 は他の供試体と比較して、コンクリートの引張強度が低く、脆度係数が大きい、また、せん断ひび割れの幅が大きくなり、脆性的な破壊性状を示した。既往の研究から軽量コンクリートを用いたせん断補強筋を配置していないはり部材では、脆度係数が大きくなるに伴って、せん断ひび割れのひび割れ面が平滑になり、骨材のかみ合わせ作用が低下する等の要因により、コンクリート負担せん断力が低下することが報告されている⁶⁾。したがって、再生骨材コンクリートを用いたはり部材においても脆度係数が大きくなるにつれて、同様の挙動を示したものと考えられる。

(2) せん断補強筋を配置した供試体

荷重-たわみ関係を図-4に示す。MN-2 は NN-2 と比

較すると、最大荷重、最大荷重時変位、最大荷重以降の軟化領域においても、ほぼ同様の挙動を示した。このことから、細骨材に再生骨材Mを用いた場合、コンクリートの圧縮強度が同程度であれば、普通細骨材を用いた場合とほぼ同様の曲げ耐荷特性を示すものと考えられる。

一方、MH-2、MM-2はMN-2と比較すると、最大荷重まではほぼ同様の挙動を示したが、終局変位はMH-2が25mm、MM-2が17mm、MN-2が16mmとなり、じん性を有する挙動を示した。このことから、粗骨材に再生骨材M、Hを用いた場合、コンクリートの圧縮強度が同程度であれば、普通粗骨材を用いた場合とほぼ同様の曲げ耐荷特性を示すものと考えられる。

3.4 せん断ひび割れ発生荷重

せん断補強筋を配置していない供試体において、せん断ひび割れ発生荷重に着目し、せん断ひび割れ発生荷重とコンクリートの脆度係数関係を図-5に示す。また、せん断耐力式(式(2))からせん断ひび割れ発生荷重($P_{cr} = 2V_c$)を算定し、せん断ひび割れ発生荷重の実測値と比較することとした。せん断ひび割れ発生荷重の計算値を図の右側に示す。NN-1の計算値を P_{cr1} 、MN-1の計算値を P_{cr2} 、MH-1の計算値を P_{cr3} 、MM-1の計算値を P_{cr4} とした。なお、NN-1供試体は細骨材、粗骨材ともに普通骨材を用いているため、 β_r は乗じていない。

NN-1は脆度係数が13.4でせん断ひび割れ発生荷重は63.7kNであるが、MN-1は脆度係数が15.3でせん断ひび割れ発生荷重は57.8kNとなり、脆度係数が大きくなるに伴って、せん断ひび割れ発生荷重が小さくなる傾向を示した。3.1で述べたように、モルタル分の付着による再生骨材の品質の変化により、コンクリートの引張強度や脆度係数が影響を受け、コンクリートの引張強度の低下に伴って、せん断ひび割れ発生荷重やコンクリート負担せん断力が低下することが想定される。また、土木学会コンクリート標準示方書のせん断補強筋を用いない棒部材の設計せん断耐力式(式(1))では、コンクリートの圧縮強度の関数がパラメータとして取り込まれている。このことから、再生骨材の利用によるせん断耐力の低減の影響について、圧縮強度の引張強度に対する比である脆度係数の逆数をパラメータとした関数を、式(1)に乗じる等により、評価することが可能であると考えられる。

一方、式(2)によるせん断ひび割れ発生荷重の計算値はいずれも実測値を安全側に評価している。式(2)における再生骨材の利用によるせん断耐力の低減の影響を評価する低減係数 β_r は安全側の値を算出する傾向があり、また、再生骨材の吸水率や密度等の品質が変化しても、同一の値を与え、再生骨材の品質がせん断耐力に及ぼす影響を評価できていない。以上のことから、再生骨材の品質を考慮に入れた合理的な評価手法の確立が望まれる。

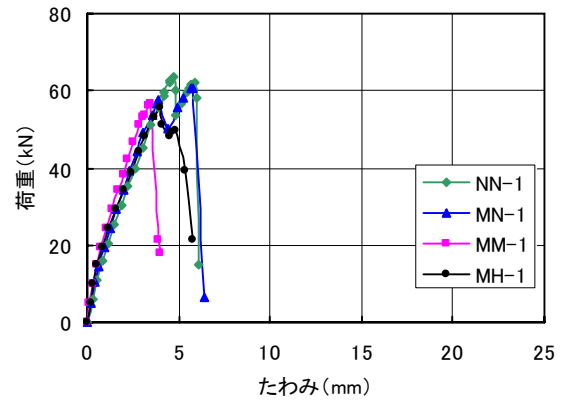


図-3 荷重-たわみ関係(せん断補強筋無し)

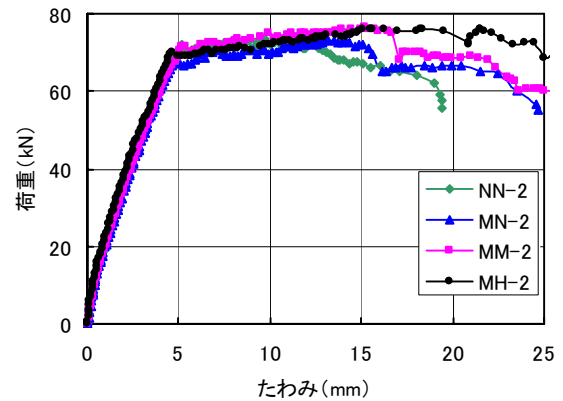


図-4 荷重-たわみ関係(せん断補強筋有り)

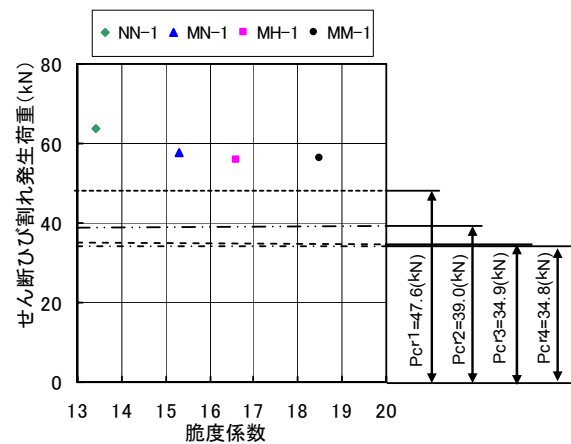


図-5 せん断ひび割れ発生荷重-脆度係数

3.5 荷重-スターラップひずみ関係

せん断補強筋を配置した供試体における荷重-スターラップひずみ関係を図-6に示す。スターラップひずみの値は各供試体において計測した全てのスターラップひずみの平均値を示す。(図-2参照)

MN-2とNN-2を比較すると、MN-2は荷重が30kN程度で、NN-2は荷重が40kN程度でスターラップひずみが増加し始めた。MN-2はNN-2と比較すると、コンクリートの圧縮強度はほぼ同様であるが、引張強度が低いため、脆度係数が高くなり、曲げせん断ひび割れ発生荷重が小

さくなくなったことが要因として考えられる。しかしながら、今回の試験では、スターラップが降伏に至る以前に曲げ破壊を呈したが、終局に至るまでのスターラップひずみの挙動は、ほぼ同等であった。

また、MN-2、MM-2、MH-2 を比較すると、MN-2 と MM-2 は荷重が 30kN 程度で、MH-2 は荷重が 40kN 程度でスターラップひずみが増加し始めた。MM-2 と MN-2 は終局に至るまでのスターラップひずみの挙動はほぼ同等であった。一方、MH-2 は同一荷重時におけるひずみの値が MM-2 と比較して小さくなり、最大荷重時のひずみの値は小さくなった。MH-2 は MM-2 と比較して、コンクリートの圧縮強度はほぼ同等であるが、引張強度が高いため、脆度係数が低くなり、それに伴って、曲げせん断ひび割れ発生荷重が大きくなったことが要因として考えられる。

以上のことから、細骨材、粗骨材に再生骨材 M を用いた場合は、普通骨材を用いた場合と比較して、コンクリートの圧縮強度がほぼ同程度であっても引張強度が低くなることにより、脆度係数が高くなり曲げせん断ひび割れ発生荷重が小さくなることが考えられる。しかしながら、せん断補強筋が適切に配置され最終的な破壊形式が曲げ破壊に至る場合には、スターラップひずみの増加挙動や耐荷挙動はほぼ同等であると考えられる。また、粗骨材に再生骨材 H を用いた場合、再生骨材 M を用いた場合と比較して、引張強度が増大し、脆度係数が低下することにより、曲げせん断ひび割れ発生荷重が大きくなる事が考えられる。

3.6 分担せん断力関係

せん断補強筋を配置した供試体における作用せん断力 V と、コンクリートおよびせん断補強筋の分担せん断力 (V_c, V_s) の関係を図-7、8 に示す。図-7 には NN-2、MN-2 供試体の実測値、図-8 には MM-2、MH-2 供試体の実測値を示す。

これらの図中のせん断補強筋負担せん断力 V_s の実測値は、スターラップひずみの実測値の平均値からトラス理論により計算したものである。また、コンクリート負担せん断力 V_c の実測値は、作用せん断力 V から V_s を差し引いたものである。

また、せん断耐力式 (式(2)) から算出したコンクリート負担せん断力を図の右側に示す。NN-2 の計算値を V_{c1} 、MN-2 の計算値を V_{c2} 、MM-2 の計算値を V_{c3} 、MH-2 の計算値を V_{c4} とした。なお、NN-2 供試体は細骨材、粗骨材ともに普通骨材を用いているため、 β_r は乗じていない。

MN-2 と NN-2 を比較した場合において、 V_s が増加し始める荷重は、MN-2 は作用せん断力が 15kN 程度であるが、NN-2 は 20kN 程度となった。(図-7 参照) 荷重-スターラップひずみ関係において述べたように、MN-2

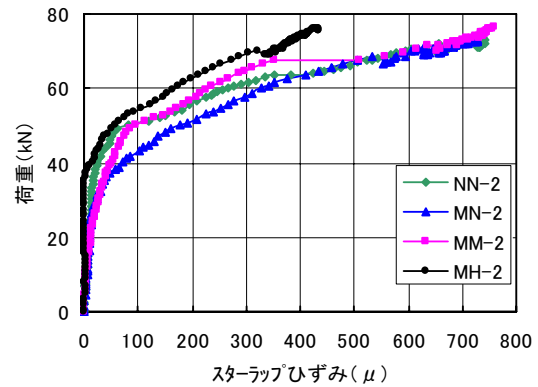


図-6 荷重-スターラップひずみ関係

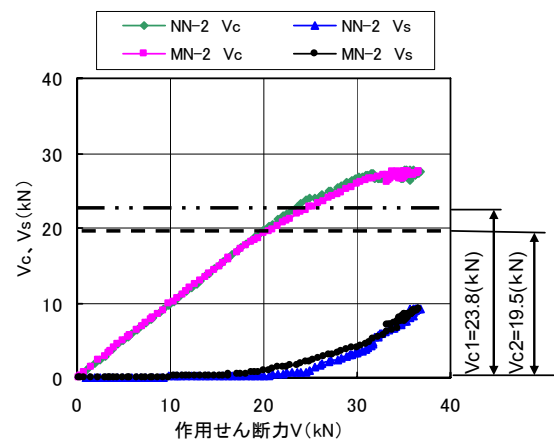


図-7 作用せん断力-分担せん断力関係 (NN, MN)

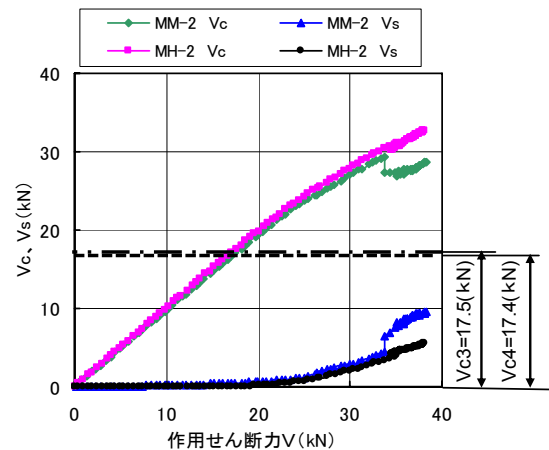


図-8 作用せん断力-分担せん断力関係 (MM, MH)

は NN-2 と比較して、スターラップひずみが増加し始める荷重が小さくなり、 V_s が増加し始める作用せん断力が小さくなった。しかしながら、今回の試験では、スターラップが降伏に至る以前に曲げ破壊を呈したが、終局に至るまでのコンクリート負担せん断力、せん断補強筋負担せん断力の挙動は、ほぼ同等であった。

また、実験値と計算値との比較において、NN-2、MN-2 の V_c の実測値は、 V_c の計算値 (V_{c1} 、 V_{c2}) を上回った。とりわけ、再生細骨材を用いた MN-2 においてその傾向

が強く、 V_c の実測値は計算値 V_{c2} の 1.4 倍の値を示し、計算値は実測値をかなり安全側に推測した。

MM-2 と MH-2 を比較した場合 (図-8 参照) において、ともに曲げせん断ひび割れが発生しているものの、MM-2 は曲げせん断ひび割れの開口に伴い、 V_c の低下が見られた。MM-2 は MH-2 と比較して、コンクリートの引張強度が低く、骨材のかみ合わせ作用が低下する等の要因により、せん断ひび割れが大きく開口し、 V_c の低下が生じたものと考えられる。

また、実験値と計算値との比較において、MN-2、MH-2 の V_c の実測値は計算値 (V_{c3} 、 V_{c4}) の 1.7~1.9 倍の値を示し、計算値は実測値をかなり安全側に推測した。

以上のことから、細骨材に再生骨材 M を用いた場合は、普通骨材を用いた場合と比較して、コンクリートの圧縮強度がほぼ同程度であっても、引張強度が低くなることにより、曲げせん断ひび割れ発生荷重が小さくなり、 V_s が増加し始める作用せん断力が小さくなる場合があるが、せん断補強筋が適切に配置され最終的な破壊形式が曲げ破壊に至る場合には、スターラップひずみの増加挙動や耐荷挙動はほぼ同等であると考えられる。

一方、細骨材に再生骨材 M、粗骨材に再生骨材 H を用いた場合は、細骨材、粗骨材ともに再生骨材 M を用いた場合と比較して、コンクリートの引張強度が高く、骨材のかみ合わせ作用が向上する等の要因により、 V_c の実測値が増加する場合がある。

また、実験値と計算値との比較において、再生骨材を用いたいずれの供試体においても、 V_c の計算値は V_c の実測値を大きく下回り、せん断耐力式 (式(2)) における再生骨材の利用によるせん断耐力の低減の影響を評価する低減係数 β_r はかなり安全側の値を算出した。

4. 結論

本研究から得られた主な結果を要約すると、以下のとおりである。

- (1) 再生骨材 M を用いた場合は再生骨材 H を用いた場合と比較して、骨材に付着しているモルタル分が多いことから、コンクリートの引張強度が低下しコンクリートの脆度係数が大きくなる傾向を示した。
- (2) せん断補強筋を適切に配置した場合において、再生骨材 M や再生骨材 H を用いた供試体は、普通骨材を用いた供試体と比較して、コンクリートの圧縮強度が同程度であれば、ほぼ同等の曲げ耐荷特性を示し、断面分割法により曲げ破壊荷重を適切に推定できる。
- (3) 細骨材、粗骨材に再生骨材 M を用いた場合は、普通

骨材を用いた場合と比較して、曲げせん断ひび割れ発生荷重が小さくなる場合があるが、最終的に曲げ破壊に至る場合には、スターラップひずみの増加挙動や耐荷挙動はほぼ同等である。

- (4) コンクリート負担せん断力 V_c の実測値は計算値 (V_{c2} 、 V_{c3} 、 V_{c4}) の 1.4~1.9 倍の値を示し、せん断耐力式 (式(2)) における再生骨材の利用によるせん断耐力の低減の影響を評価する低減係数 β_r は、かなり安全側の値を算出する傾向を示した。また、再生骨材の品質の影響を考慮できていないため、再生骨材の品質を考慮に入れた合理的な評価手法の確立が望まれる。
- (5) コンクリートの引張強度が小さくなるに伴って、はり供試体のせん断ひび割れ発生荷重が小さくなることから、再生骨材の利用によるせん断耐力の低減の影響について、圧縮強度の引張強度に対する比である脆度係数の逆数をパラメータとした関数を用いることにより、評価することが可能であると考えられる。

謝辞

本研究は奥村組建設環境技術助成基金を受けて実施致しました。また、(株)竹中工務店、(株)京星から再生骨材をご提供いただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 桐山宏和、十河 勝、丸山一平、佐藤良一：再生 RC はりのせん断性状に及ぼす再生骨材の品質の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.28, No.2, pp.763-768, 2006
- 2) 日本コンクリート工学協会：再生骨材コンクリートの現状と将来展望-JIS 概要と普及促進に向けて-、2006.11
- 3) 土木学会：電力施設解体コンクリートを用いた再生骨材コンクリートの設計施工指針 (案)、コンクリートライブラリー120, 2005
- 4) 米澤敏男、神山行男、柳橋邦生、小島正朗、荒川和明、山田 優：高品質再生粗骨材製造技術の研究、材料、vol.50, No.8, pp.835-842, 2001
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書 (2002 年制定)、構造性能照査編, 2002
- 6) 前田拓郎、日比野憲太、高木宣章、児島孝之：高品質軽量骨材を用いた RC はりのせん断特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.23, No.3, pp.913-918, 2001