

論文 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

桐山 宏和*1・十河 勝*2・丸山 一平*3・佐藤 良一*4

要旨: 再生骨材を使用した再生 RC はりのせん断耐力は低下することが知られているが、せん断補強筋を配置すると大きな耐力改善されることが知られている。本研究では、品質の異なる再生骨材を用いて再生 RC はりを製作し、載荷試験を行った。補強筋を配置することで、低品質な骨材を使用した再生 RC はりにおいても、高品質なものと同様な耐力改善がされることを確認した。

キーワード: 再生骨材, 骨材品質, せん断特性, せん断補強筋

1. はじめに

廃棄コンクリートより製造された再生骨材を RC 部材へ使用した時、RC 部材のせん断耐力が低下することが知られているが、せん断補強筋を配置すると大きな耐力改善することが近年の研究により確かめられている^{1),2)}。

また、電力施設解体時には同時に大量の廃棄コンクリートが排出され、その利用先を拡大しなければ廃棄コンクリートの排出が過剰になり社会問題となると懸念されている。その中で、昨年土木学会が主となり、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)¹⁾がまとまっている。

本研究では、電力施設解体再生骨材(ケース1)と一般構造物から製造された再生骨材(ケース2)とを用いた再生コンクリートから RC はりを製作、載荷試験を行い、骨材の品質が RC はりのせん断特性に及ぼす影響を実験的に検討した。

表-1 使用骨材性質

	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	粗粒率 FM	モルタル (ペースト) 付着率 (%)
普通粗骨材	2.62	2.60	0.51	6.65	—
再生粗骨材					
ケース1	2.45	2.32	5.57	6.65	—
ケース2	2.38	2.23	6.84	6.59	42.9
普通細骨材	2.58	2.50	1.62	2.95	—
再生細骨材					
ケース1	2.30	2.07	11.21	2.90	—
ケース2	2.25	2.01	11.86	3.06	22.7

*1 広島大学大学院 工学研究科 社会環境システム専攻 (正会員)

*2 和歌山県 県土整備部 (非会員)

*3 名古屋大学大学院 環境学研究所 都市環境学専攻 (正会員)

*4 広島大学大学院 工学研究科 社会環境システム専攻 (正会員)

2. 実験概要

2.1 使用再生骨材, 及び品質について

表-1 に使用した骨材の物性を示す。使用した骨材は、

- ・普通骨材:黒瀬産砕石, 黒瀬産砕砂使用
- ・ケース1:関東地域の約10年前の火力発電所にあるガスタービン基礎を解体したものを再生骨材として使用
- ・ケース2:広島県内の数十ヶ所の擁壁や木造建築物基礎, RC 建造物基礎等から得られたコンクリート廃材を再生骨材として使用

表-1 を見るとケース2の再生粗骨材において若干吸水率が高く、粗・細骨材にて若干低い密度

表-2 示方配合

	W/C	s/a	単位量 (kg/m ³)					
		%	W	C	S	G	AE	AEWR
普通	0.60	47	175	292	841	962	—	2.92
ケース1	0.55	44	153	278	722	980	0.40	—
ケース2	0.60	47	176	293	729	873	—	2.93

AE:AE助剤 AEWR:AE減水剤

表-3 コンクリート単位量当たりの

総水量-セメント比

	吸水量(kg/m ³)		総水量	
	細骨材	粗骨材	(kg/m ³)	セメント比
普通	13.6	4.9	193.5	0.66
ケース1	80.9	54.6	288.5	1.04
ケース2	86.5	59.7	322.2	1.10

を示している。本稿での骨材の品質については、後に述べるコンクリートの諸強度を基準とし品質を決定した。

2.2 配合

作製したコンクリートの配合を表-2 に示す。セメントには普通セメント、混和剤にはポリカルボン酸及びリグニンスルホン酸塩系減水剤を使用した。

また、表-3 にそれぞれの配合中の総水量とセメント量との比(総水量セメント比と定義)を示す。配合中の総水量セメント比とコンクリートの圧縮強度やヤング係数等は比例関係にあるという報告がある³⁾。ケース1とケース2では総水量セメント比に大きな差がない。このため本研究では両ケースのコンクリートを同等なものとして議論する。

2.3 供試体概要

作製した供試体の補強筋を配置したものの概要を示す。補強筋が無いものは、同様の供試体にて補強筋を取り除いたものになっている。

それぞれの供試体にて有効高さが160mmのものは引張鉄筋比がケース1で4.22%、ケース2で2.39%、有効高さ350mmのものがケース1で4.03%、ケース2は有効高さが335mmで1.93%となっている。また、供試体については鉄筋に貼付したひずみゲージの貼付位置についても同時に記してある。使用した鉄筋の一覧を表-4 に示してある。D6鉄筋は引張試験実施結果、降伏応力が180N/mm²程度になった。

2.4 荷重方法及び測定項目

荷重試験は、2点集中荷重単調荷重にて行った。荷重中にはやはり中央部のたわみと、ひび割れの発生状況について観察を行った。

3. 実験結果

3.1 コンクリート強度性状、品質定義

図-4 に荷重時材齢における各コンクリートの各種強度と普通コンクリートを基準とした時の再生コンクリートの各強度の比率について示す。再生骨材を用いた両ケースのコンクリートは全

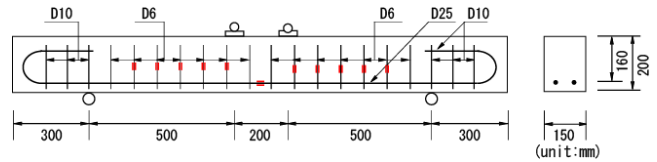


図-1 供試体概要 有効高さ160mm
(上:ケース1, 下:普通, ケース2)

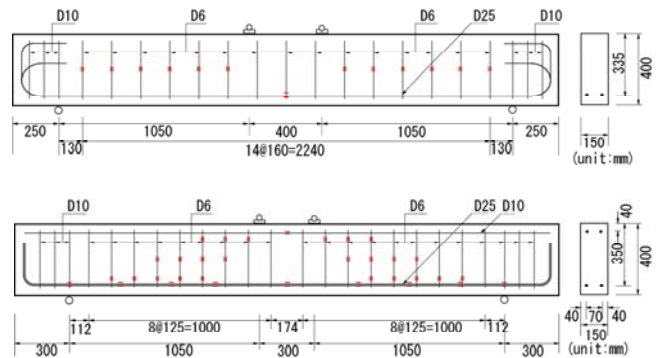


図-2 供試体概要 有効高さ350mm
(上:ケース1, 下:普通, ケース2)

表-4 使用鉄筋一覧

供試体	有効高さ(mm)	圧縮鉄筋	引張鉄筋	せん断補強筋
普通	160	2D10 SD295	2D19SD295	2D6 SD245相当
ケース1		---	2D25 SD345	2D6 SD245相当
ケース2	350	2D10 SD295	2D19 SD490	2D6 SD245相当
普通		---	2D25 SD490	2D6 SD245相当
ケース1	335	---	4D25 SD345	2D6 SD245相当
ケース2	350	2D10 SD295	2D25 SD490	2D6 SD245相当

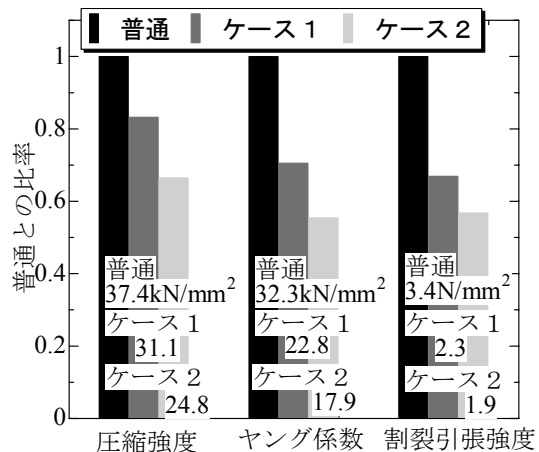


図-3 コンクリートの圧縮強度, ヤング係数, 割裂引張強度比較 (荷重時材齢)

ての物性値について低下していることが分かる。図-4 に示すように普通コンクリートを基準とし

たときの再生コンクリートはケース1で圧縮強度が8割、ケース2については6割程度にまで低下していることが分かる。また、ヤング係数、割裂引張強度については、圧縮強度の低下率よりも大きな低下率を示していることが分かる。これはヤング係数と割裂引張強度が付着しているモルタル及びペーストの影響と、相対的な粗骨材の量の影響を受けるためだと考えられる。両再生コンクリート同士の強度を比較すると、ケース2はケース1の強度の8割程度に低下していることが分かる。表-3において、総水量セメント比はそれほど差がないにもかかわらず、圧縮強度及びその他の諸強度の低下量が大きいことが分かる。これは、再生骨材の元となる原コンクリートの材齢の影響、加えて不純物等の

影響によるものだと考えられる。以上を踏まえてケース1を高品質、ケース2を低品質な再生骨材及び再生コンクリートとした。

3.2 荷重-たわみ関係(せん断補強筋無)

図-4,5に補強筋を配置していない供試体の荷重-たわみ関係を示す。図に同時に示してある斜めひび割れ発生せん断力: V_c は二羽式によって求めた。

再生供試体では、普通供試体にくらべてたわみが増加していることが分かる。増加量はケース2の方がより大きくなった。

また、図を見て分かるように、普通供試体では最大荷重が V_c よりも大きな荷重で斜めひび割れが発生していることが分かるが、再生骨材を用いた両ケースの供試体は V_c よりも若干小

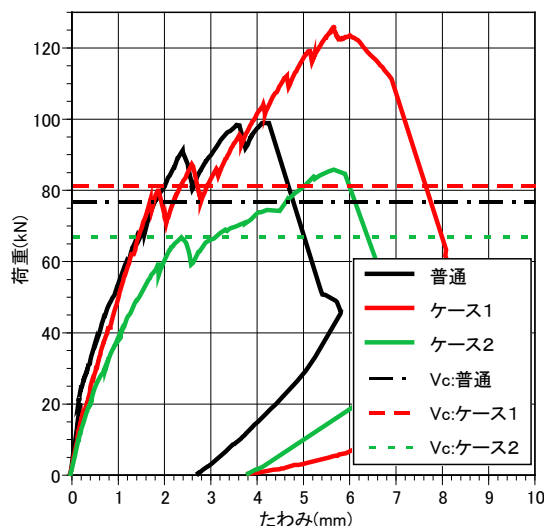


図-4 荷重—たわみ関係(d=160mm)補強筋無

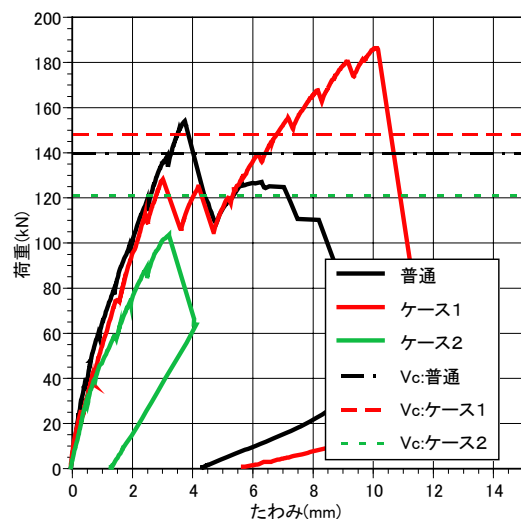


図-5 荷重たわみ関係(d=350mm)補強筋無

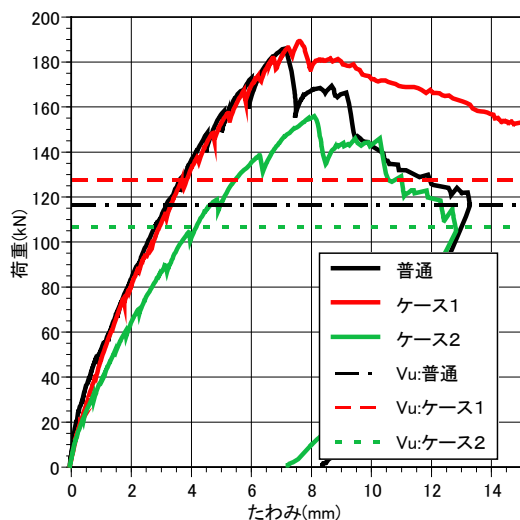


図-6 荷重たわみ関係(d=160)補強筋有

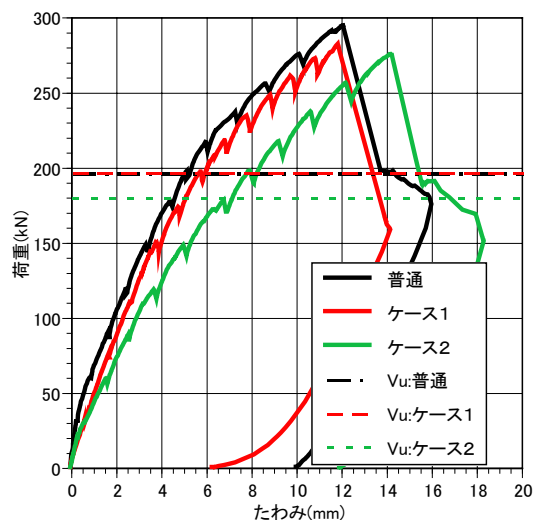


図-7 荷重たわみ関係(d=350mm)補強筋有

小さな荷重もしくは同程度の荷重で斜めひび割れが発生していることが分かる。寸法が大きくなると V_c よりも小さな荷重で破壊に至っていることが分かる。また、ケース1については、斜めひび割れ発生後、アーチアクションを起こし斜めひび割れ発生後においても耐力が増加している。

3.3 荷重-たわみ関係(せん断補強筋有)

次にせん断補強筋を配置した場合の荷重-たわみ関係を示す。図-6 に有効高さ 160mm の供試体、図-7 に有効高さ 350mm の供試体のものを示す。

図を見たら分かるように、有効高さによらず、終局荷重が大幅に改善していることが分かる。また、ケース1の供試体については、普通供試体より若干たわみが大きくなっているが、終局荷重においてはほぼ同程度にまで耐力が改善されていることが分かる。また、せん断補強筋を配置してもたわみへの影響は少なく、補強筋を配置しない供試体と同様にケース1では若干大きく、ケース2では大きいままであった。

補強筋を配置することによって、最大荷重に大幅な改善が見られるのは、はり供試体に斜めひび割れが発生した後のせん断抵抗要素は主としてせん断補強筋の引張抵抗となり、せん断補強筋の降伏によって終局に至ると考えられるからであり、図-10,11 から見ても分かるように、全ての供試体において補強筋が降伏後に破壊に至っている。

3.4 ひび割れ性状

図-8,9 に有効高さ 350mm の各供試体のひび割れ性状を示す。再生骨材を使用すると若干ひび割れが多くなるものの、破壊モードに大きな影響は無いことがわかる。これは、有効高さ 160mm のものについても同様であった。補強筋の無いケース1については、斜めひび割れが載荷点下にもぐりこみ、その後更なる荷重に耐え、斜めひび割れが載荷点外に付き抜けて破壊に至った。

再生骨材の使用が破壊形態に大きな影響を及ぼすことは無いことがわかる。

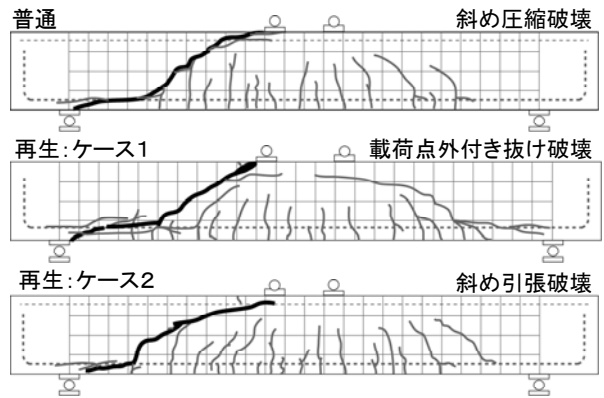


図-8 d=350mm 補強筋無

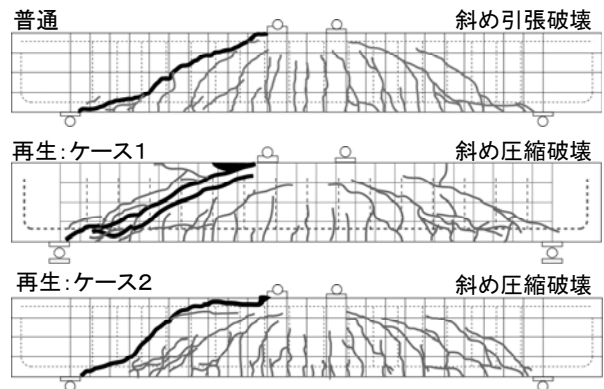


図-9 d=350mm 補強筋有

3.5 せん断力-補強筋せん断分担力

図-10,11 にはり供試体に作用するせん断力とせん断分担力についてのグラフを示す。補強筋せん断分担力は、破壊時の斜めひび割れを通過している補強筋に作用している引張力の合力とした。図-10 については、有効高さが 160mm のもの、図-11 については有効高さが 350mm のものを示してある。また、グラフには修正トラス理論によって求めた補強筋に作用する引張合力も示してある。

再生骨材を用いた供試体については、修正トラス理論で求めたせん断分担力よりも小さい値を示していることが分かる。これは、再生骨材を供試体を使用することによって、骨材がひび割れ進展時に破断するため、斜めひび割れ発生せん断耐力が低下し、コンクリートが受け持つせん断抵抗要素が減少したためだと考えられる。

また、再生骨材を使用した両供試体についてみると、斜めひび割れ発生後にせん断抵抗要素

として作用するせん断補強筋の性状に大きな変化は見られないことが分かる。再生 RC はりにおいて斜めひび割れ発生せん断耐力は低下するが、その後のせん断抵抗としてはせん断補強筋の負担分が主となり、トラス理論が成立することが分かる。再生 RC はりにおいて、せん断補強筋が適切に配置されてさえいれば、かなりの耐力改善が見込まれることが分かる。加えてせん断補強筋の量を調整することで、普通 RC はりと同等の性能を保持させることができるといえる。

3.6 せん断耐力比較

表-5 に各供試体におけるせん断性状の一覧を示す。せん断性状として、補強筋無しの供試体において、斜めひび割れ発生せん断耐力を二羽式により、それをもとに修正トラス理論を用いて、せん断補強筋を配置した供試体における終局せん断耐力を算定した。せん断補強筋を有す

る供試体の斜めひび割れ発生荷重は、斜めひび割れを通る補強筋のうち、最後に引張ひずみを示した補強筋が生じた時のものとした。また、電力施設解体コンクリート設計指針(案)¹⁾に掲載されている低減係数を用いたせん断耐力算定値についても同時に示した。斜めひび割れ発生せん断耐力はアーチ作用を引き起こしたものについては、最初に荷重が低下した点とした。

表-5 を見ると、補強筋を配置しない供試体において、斜めひび割れ発生せん断耐力は、普通供試体では殆どが二羽式の値よりも大きな値を示していることが分かるが、再生骨材を使用した両ケースの供試体については二羽式と同等か、それよりも小さな値を示した。低下率は寸法が大きくなると大きくなることが分かる。これは再生 RC はりでは寸法効果の影響が強く現れる可能性があることが示唆されており²⁾、その影響

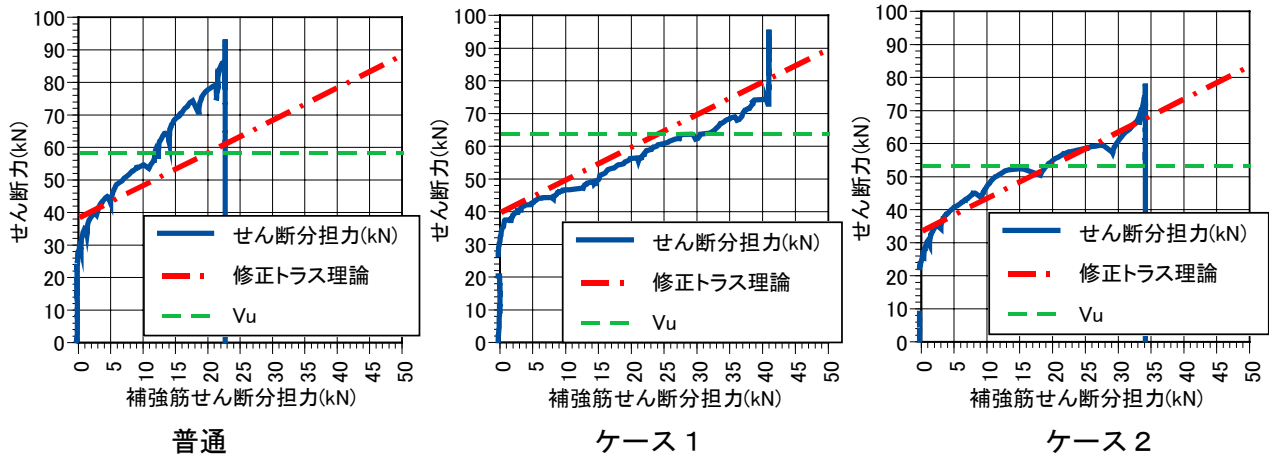


図-10 せん断力-補強筋せん断分担力(d=160mm)

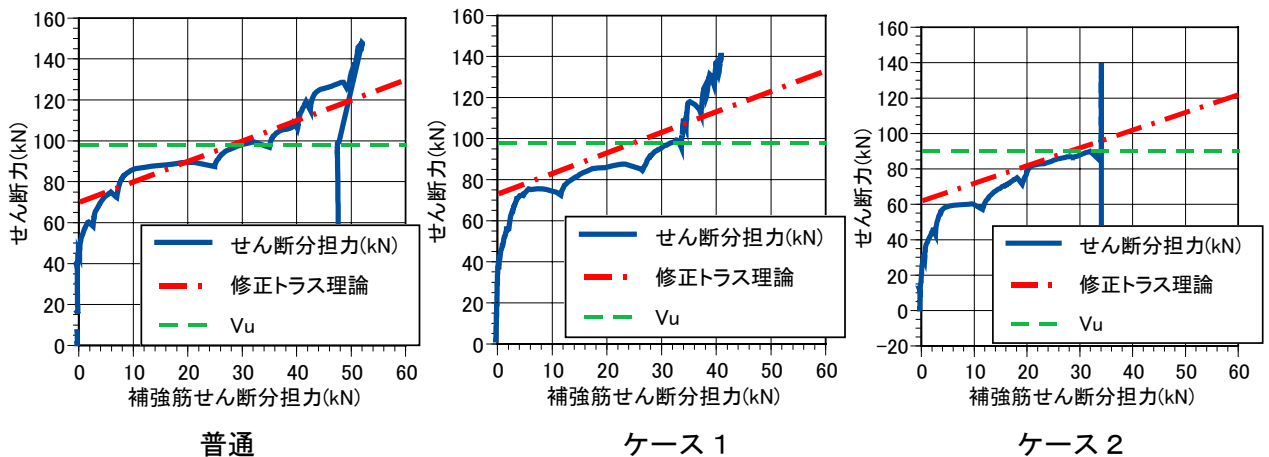


図-11 せん断力-補強筋せん断分担力(d=350mm)

表-5 せん断耐力比較

配合	せん断補強筋	有効高さ(mm)	二羽式		電力指針		実験値		Vc,exp		修正トラス理論		トラス理論		実験値		Vu,exp		破壊形態
			Vc	Vcd	Vc,exp	Vc	Vcd	Vc+Vs	Vcd+Vs	Vs	Vu,exp	(Vc+Vs)	(Vcd+Vs)						
普通	無	160	38.5	-	45.4	1.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	斜め圧縮
ケース1			40.7	32.6	39.7	0.98	1.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	斜め圧縮
ケース2			33.6	26.9	33.2	0.99	1.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	斜め圧縮
普通	有	160	38.5	-	39.6	1.03	-	58.5	-	19.9	92.7	1.58	-	-	-	-	-	-	斜め圧縮
ケース1			40.1	32.1	36.8	0.92	1.15	64.0	56.0	23.9	94.3	1.47	1.68	-	-	-	-	曲げ	
ケース2			33.6	26.9	28.5	0.85	1.06	53.6	46.9	19.9	77.6	1.45	1.66	-	-	-	-	-	斜め引張
普通	無	350	70.1	-	76.7	1.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	斜め圧縮
ケース1			74.2	59.4	63.7	0.86	1.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	付き抜け
ケース2			60.8	48.6	51.5	0.85	1.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	斜め引張
普通	有	350	70.5	-	56.1	0.80	-	98.4	-	27.9	147.0	1.49	-	-	-	-	-	-	斜め圧縮
ケース1			73.6	58.9	56.0	0.76	0.95	98.6	83.9	25.0	140.9	1.43	1.68	-	-	-	-	斜め圧縮	
ケース2			62.5	50.0	57.7	0.92	1.15	90.4	77.9	27.9	137.4	1.52	1.76	-	-	-	-	斜め圧縮	

Vc: 二羽式 Vcd: 電力施設解体コンクリート指針(案) 単位:(kN)

だと考えられる。また、実験値と二羽式との比は、再生骨材の品質によらず、再生 RC はりでは同程度となった。

補強筋を配置した供試体について終局せん断耐力と、実験値とを比較すると、いずれの供試体についても実験値が理論値の 1.5 倍程度の値を示していることが分かる。骨材の品質が最終的なせん断耐力に及ぼす影響は小さく、二羽式と修正トラス理論から得られる終局値において普通供試体と同等の評価ができるといえる。

また、電力施設解体コンクリートの設計指針(案)¹⁾での算定式と比較すると、斜めひび割れ発生荷重においても、全てが計算式よりも大きい値を示し、安全側での設計が可能であるといえる。

3.7 作用せん断力-斜めひび割れ幅関係

図-12に補強筋を配置した有効高さ 350mm 供試体における作用せん断力と破壊に至った斜めひび割れ幅との関係を示してある。斜めひび割れ幅はロゼット法を用いコンタクトゲージ(1/1000mm)を用いて測定した。

再生骨材を使用すると斜めひび割れ幅は増大するが、これは再生骨材の引張強度、剛性が小さいことによると考えられ、再生骨材使用による大きな影響は無いと考えられる。

4. 結論

(1)骨材品質によって、斜めひび割れ発生荷重への大きな影響はみられず、寸法が等しい供試体において、理論式(二羽式)との比は同程度だった。

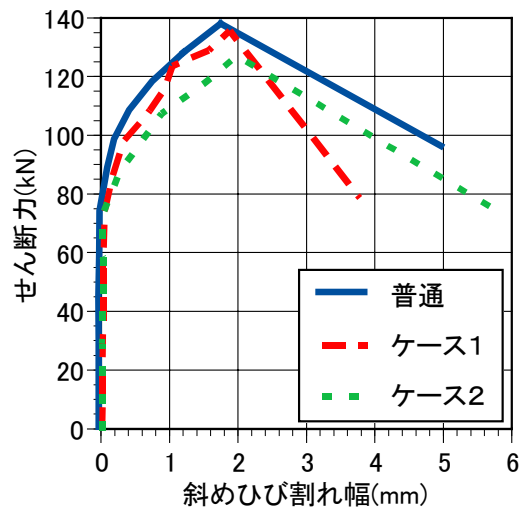


図-12 せん断力-斜めひび割れ幅
補強筋有 d=350mm

(2)せん断補強筋を配置した再生 RC はりの終局せん断耐力は、骨材の品質によらず補強筋の耐荷性状に大きな変化はなく、修正トラス理論によって従来、または指針案どおりの評価できる。

参考文献

- 1) 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,2005,6
- 2) 十河勝他:鉄筋再生コンクリートはりの力学特性に関する実験的検討,コンクリート工学年次論文集,Vol.26,No.1,2004
- 3) 麓隆行ら:再生細骨材の物理的性質がコンクリート性状に及ぼす影響について,No.24,No.1,2002