

石灰石骨材を用いた RC 部材の力学的特性

西日本旅客鉄道(株) 正会員 ○箱崎 恵介 鳥取大学大学院 学生会員 小林 聖人  
鳥取大学大学院 フェロー会員 井上 正一 鳥取大学大学院 正会員 高井 伸一郎

1. はじめに

実際に構造用コンクリート骨材として石灰石が利用される機会が増加している中で、骨材全量に石灰石骨材を用いた RC 部材の挙動を検討した研究は極めて少ない。そこで、細・粗骨材ともに石灰石骨材を用いたコンクリート(全骨材内に石灰石微粒分を JIS 上限値まで含む, L①と表記)および粗骨材のみに石灰石骨材石を用いたコンクリート(粗骨材内に石灰石微粒分を 5% および 16% 含む, それぞれ NL5 および NL16 と表記)から RC はりを作製し, 静的・一方向および正負交番荷重下における, 耐力, 変形・ひび割れ性状を検討した。

2. 実験概要

表-1に示す, 粗骨材に山口県美祢市産の石灰石砕石を用いることにし細骨材にはと大分県津久見市産の石灰石砕砂を使用したコンクリートと普通砂を使用したコンクリート, および普通砕石と普通砂を用いたコンクリート(Nと表記)で表-2に示す RC はりを作製した。コンクリートの 28 日目強度は 30N/mm<sup>2</sup>, スランプ 5±1cm, 空気量 5±1.0%で, その示方配合を表-3に示す。RC はりに選んだ実験要因は, コンクリートの種類, 主鉄筋量で, 荷重は一方向および正負交番荷重ともスパン 150cm の 3 等分点荷重で行った(図-1 参照)。正負交番荷重試験における設定繰返し変位水準は, 主鉄筋降伏時のスパン中央たわみ  $\delta_y$  を基準に, その整数倍  $\pm k\delta_y$  ( $k=1,2,\dots$ ) で選び, 各設定繰返し変位水準での繰返し回数は 3 回として, 順次  $k$  の値を大きくし行き, 終局変位に達するまで行った。

3. 実験結果および考察

3.1. 破壊様式

本研究で選定した主鉄筋量の範囲においては主鉄筋量やコンクリートの種類, 微粒分量の違いによらず大変形をした後に, すべての RC はりは曲げ引張破壊をした。なお, 複鉄筋はりは, 荷重方法によらず圧縮鉄筋の座屈を伴って破壊したことが特徴として挙げられる。

3.2. 耐力

表-4に示した終局曲げ耐力の計算値は, 安全係数を 1 とし, 土木学会標準示方書に基づいて算定したものである。表-4より, 曲げ耐力比は, 主鉄筋量が同一の

表-1 骨材の物理的性質

骨材	種類	物性値					
		表乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	吸水率 (%)	F.M.	実積率 (%)	40t破砕値 (%)	微粒分量 (%)
細骨材	石灰石砂	2.69	0.65	2.28	62.7	-	5.4
	普通砂	2.67	1.29	2.74	66.3	-	3.7
粗骨材	石灰石砕石	2.68	0.55	6.41	58.4	22.3	2.6
	普通砕石	2.75	0.61	6.79	58.8	9.7	-

表-2 供試体の種類と試験時のコンクリート強度

静的 一方向	はりの名称	コンクリートの種類	コンクリートの物理的性質				主鉄筋		せん断補強鉄筋		
			試験時				As (mm <sup>2</sup> )	fy (N/mm <sup>2</sup> )	Aw (mm <sup>2</sup> )	s (mm)	
			28日	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )					静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
	S-2D19-L① S-2D16-L① D-2D16-L① S-3D10-L①	L①	31.4	39.3	35.9	3.42	573	373	φ9	100	
										110	
			31.9	39.9	36.1	3.41	397	374	D10	90	
									214	405	φ6
	S-2D16-NL5 D-2D16-NL5 S-2D13-NL5 D-2D13-NL5 S-3D10-NL5 D-3D10-NL5	NL5	31.7	38.5	33.4	3.41	397	374	φ9	100	
										D10	90
			32.7	40.4	32.3	3.34	253	367	φ6	110	
									D6	90	
			32.7	40.4	32.3	3.34	214	405	φ6	110	
									D6	90	
	S-2D16-NL16 D-2D16-NL16 S-2D13-NL16 D-2D13-NL16 S-3D10-NL16 D-3D10-NL16	NL16	31.6	38.3	32.0	3.31	397	374	φ9	110	
										D10	90
			32.9	40.1	31.1	3.28	253	367	φ6	110	
									D6	90	
			32.9	40.1	31.1	3.28	214	405	φ6	110	
									D6	90	
S-2D19-N S-2D16-N D-2D16-N S-2D13-N D-2D13-N S-3D10-N D-3D10-N			N	30.7	38.8	33.1	3.33	573	373	φ9	100
											110
	30.2	38.8		33.3	3.34	397	374	D10	90		
								φ6	110		
	31.5	41.1		33.5	3.42	253	367	D6	90		
								214	405	φ6	110
	31.5	41.1		33.5	3.42	214	405	D6	90		
	D-2D16-L① D-2D16-NL5	L①	31.9	39.9	36.1	3.41	397	374	D10	90	
											31.7
	D-2D13-NL5 D-3D10-NL5	NL5	31.9	38.7	30.9	3.20	253	367	D6		
											214
	D-2D16-NL16 D-2D13-NL16 D-3D10-NL16	NL16	31.6	38.3	32.0	3.31	397	374	D10		
											253
	D-2D16-N D-2D13-N D-3D10-N	N	30.2	38.8	33.3	3.34	397	374	D10		
											253
	30.1	39.9	31.5	3.25	214	405	D6				

表-3 示方配合

コンクリートの種類	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤 (ml)	AE助剤 (ml)
			W	C	S	G		
L①	60	32	142	237	628	1325	C×0.25%	C×1.8%
NL5		39	141	135	767	1204		C×1.6%
NL16		27	158	263	506	1389		C×5.0%
N		45	148	247	920	1151		C×1.6%

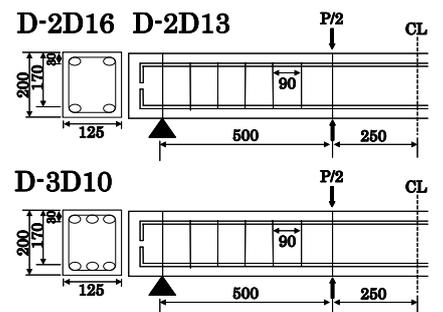


図-1 はりの断面図の詳細

RC はりにおいて、ほぼ同等の値を示し、微粒分量の多少や石灰石の使用は、曲げ耐力に影響を及ぼさないといえる。

### 3.3. 荷重～スパン中央たわみ(P-δ)関係

図-2に示すように、コンクリートの種類や単・複鉄筋に関係なく、P-δ関係は主鉄筋が降伏するまではほぼ直線形状を示し、主鉄筋降伏後は、荷重の増加はわずかでδのみが増大し、その後荷重が低下して破壊に至る、特に複鉄筋はりにおいては、きわめてじん性に富んだ挙動を示して破壊に至っている。このような挙動は主鉄筋量が異なっても同一で、正負交番荷重下のP-δ関係を示した図-3においても、主鉄筋量が同一ならば、コンクリートの種類、微粒分量に関係なく、履歴ループはほとんど同一の形状を通して破壊に至っていることが分かる。

### 3.4. 荷重～変位履歴関係

図-4に、正負交番荷重下および一方向荷重下におけるP-δ関係を示す。正負交番荷重下における終局変位は一方向載荷のそれよりも小さく1/4程度になっていることが

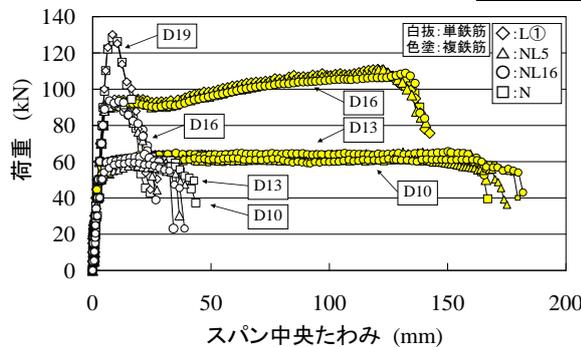


図-2 荷重～スパン中央たわみ関係（一方向）

分かる。ただし、石灰石の使用や微粒分量の多少は終局変位に影響を及ぼしていないことも分かる。

### 3.5. ひび割れ性状

図-5は、正負交番、正方向載荷における最大ひび割れ幅の推移を示したものである。いずれのRCはりにおいても、最大曲げひび割れ幅の増加量が減少し始める変位水準と斜めひび割れ幅が急増する変位水準がほぼ一致しており、このことは曲げ損傷が進行していたはりにおいて、せん断損傷が加わって破壊が進行している状態を示している。なお、最大ひび割れ間隔は、表-5より、主鉄筋が同一であれば、石灰石の使用や微粒分量の違いは、最大ひび割れ間隔に影響を及ぼしていないことが分かる。

## 4. まとめ

石灰石微粒分量をかなり多量に含む石灰石骨材を用いたRCはりの載荷試験の結果、今回設定した微粒分の範囲内であれば、石灰石の使用や石灰石微粒分がRCはりの強度、変形状、ひび割れ性状に及ぼす悪影響はないことが明らかになった。そして、普通骨材を用いたRCはりのそれと同程度であった。今後は、実際の構造物に作用する繰り返し荷重を想定したRC部材における疲労試験を行うこと、また、RC部材での付着性状を確認し、ひびわれと付着の関連性を明確にすることが重要だと考える。

表-4 RC はりの耐力

供試体名	静的一方向			正負交番			
	終局曲げ耐力 (kN・m)			最大耐力(kN・m)			
	実験値	計算値	耐力比	計算値	実験値	耐力比	
S-2D19-L①	30.60	30.25	1.01	D-2D16-L①	21.90	22.50	1.03
S-2D19-N	30.53	30.18	1.01	D-2D16-NL5	21.83	23.00	1.05
S-2D16-L①	22.23	21.89	1.02	D-2D16-NL16	21.82	22.26	1.02
S-2D16-NL5	21.95	21.80	1.01	D-2D16-N	21.85	22.65	1.04
S-2D16-NL16	22.20	21.78	1.02				
S-2D16-N	21.83	21.82	1.00				
S-2D13-NL5	15.25	14.78	1.03	D-2D13-NL5	14.76	14.29	0.97
S-2D13-NL16	15.97	14.77	1.08	D-2D13-NL16	14.76	14.34	0.97
S-2D13-N	15.60	14.80	1.05				
S-3D10-L①	13.98	12.40	1.13	D-2D13-N	14.79	14.74	1.00
S-3D10-NL5	14.70	13.86	1.06				
S-3D10-NL16	14.90	13.85	1.08	D-3D10-NL5	13.88	13.36	0.96
S-3D10-N	14.50	13.87	1.05	D-3D10-NL16	13.88	13.26	0.96
D-2D16-L①	22.65	21.90	1.03				
D-2D16-NL5	22.00	21.83	1.01				
D-2D16-NL16	22.05	21.82	1.01				
D-2D16-N	21.93	21.85	1.00				
D-2D13-NL5	16.23	14.83	1.09				
D-2D13-NL16	16.40	14.82	1.11				
D-2D13-N	15.98	14.86	1.08				
D-3D10-NL5	15.28	13.94	1.10				
D-3D10-NL16	15.28	13.93	1.10	D-3D10-N	13.90	13.85	1.00
D-3D10-N	15.20	13.97	1.09				

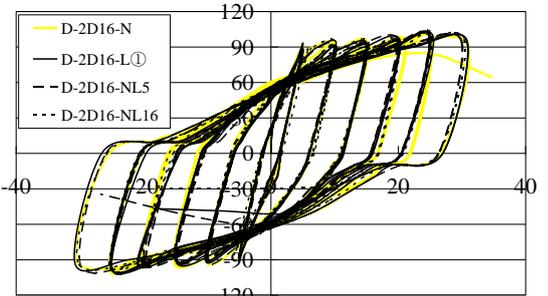


図-3 荷重～スパン中央たわみ関係（正負交番）

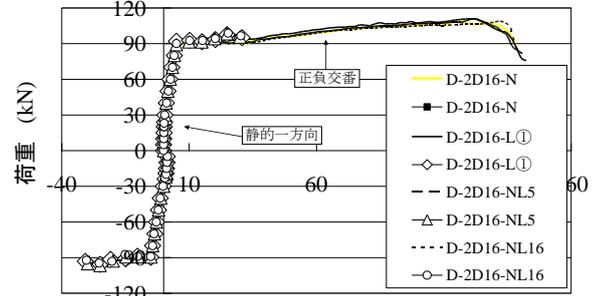


図-4 荷重～変位履歴関係

表-5 ひび割れ間隔

はりの種類	最大ひび割れ間隔 (cm)			
	実験値	計算値	実験値 / 計算値	
D-2D16-L①	12.9	13	0.99	
D-2D16-NL5	13.4		1.03	
D-2D16-NL16	12.5		0.96	
D-2D16-N	13.2		1.02	
D-2D13-NL5	13.1	13	1.01	
D-2D13-NL16	12.3		0.95	
D-2D13-N	13.5		1.04	
D-3D10-NL5	11.1	11.6	0.96	
D-3D10-NL16	9.9		0.85	
D-3D10-N	11.9		1.03	

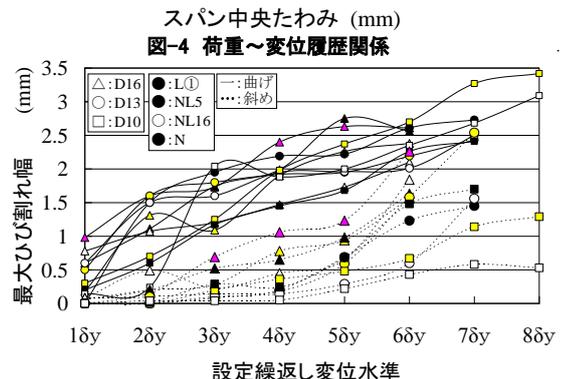


図-5 ひび割れ幅の推移図