

ステンレス鉄筋と珊瑚由来の石灰岩骨材を用いたコンクリート梁の力学特性

東亜建設工業
五洋建設
港湾空港技術研究所

正会員 〇田中 亮一
フェロー 内藤 英晴
正会員 与那嶺一秀

早稲田大学 フェロー 清宮 理
東洋建設 フェロー 佐野 清史

1. はじめに

遠隔離島では、真水および普通骨材の入手が困難で、また建設労働者の確保も難しい場合があり、経済性の観点から現地で調達できる材料によってコンクリートが製造でき、かつ施工性の観点から省力化できることが望まれている。筆者らは、これまでに現地で調達可能な海水および珊瑚由来の石灰岩骨材（以下、珊瑚骨材）を用いた高流動コンクリートを開発し、コンクリートの基本的な諸特性について実験的検討を進めてきた¹⁾。また、当該コンクリートを鉄筋コンクリート構造物に適用する場合には、鋼材腐食を防止するためにステンレス鉄筋の使用を想定しており、埋設鉄筋の腐食特性に関する検討も進めている²⁾。本稿では、ステンレス鉄筋と海水および珊瑚骨材を用いたコンクリートで構成されたコンクリート梁の曲げ載荷試験を実施し、普通骨材を用いたコンクリート梁と力学特性について比較し、また既往の計算式³⁾の適用性について検討した。

2. 実験概要

表-1にコンクリートの配合を、表-2に骨材の主な物性値を示す。SW-CAは海水および珊瑚骨材を用いた配合で、SW-NAは海水および普通骨材（大井川水系産陸砂、青梅産硬質砂岩砕石）を用いた配合とした。水セメント比は45.0%、単位粗骨材量は $0.315\text{m}^3/\text{m}^3$ で一定とし、スランプフロー $600\pm 50\text{mm}$ 、空気量 $4.5\pm 1.0\%$ となるように、単位水量および単位混和剤量を調整した。

図-1に試験体の概要を示す。本検討では、せん断スパン比 a/d の異なる2種類の試験体(曲げ破壊先行型 $a/d=3.3$ 、せん断破壊先行型 $a/d=2.0$)を各配合1体製作し、曲げ載荷試験を行った。試験体に用いたステンレス鉄筋(SUS410-SD345)は、引張鉄筋にD19(0.2%耐力 $387\text{N}/\text{mm}^2$)、圧縮鉄筋およびせん断補強鉄筋にD13(0.2%耐力 $420\text{N}/\text{mm}^2$)とした。載荷試験における計測項目は、荷重、梁中央変位、鉄筋ひずみとした。なお、曲げ破壊先行型試験体(図-1左)においては、曲げモーメント一定区間の試験体下面にパイ型変位計を設置し、ひび割れの開口変位(以下、開口変位)を計測した。

表-1 コンクリートの配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
			W	C	S1	S2	G1	G2	SP
SW-CA	45.0	50.8	185	411	845	—	756	—	6.17
SW-NA	45.0	52.0	175	389	—	881	—	838	4.28

W：海水、C：高炉セメントB種、S1：珊瑚細骨材、S2：普通細骨材、G1：珊瑚粗骨材、G2：普通粗骨材、SP：特殊混和剤

表-2 骨材の主な物性値

物性	細骨材		粗骨材	
	珊瑚	普通	珊瑚	普通
粗粒率	2.53	2.77	6.14	6.71
微粒分量(%)	14.8	1.5	3.6	0.1
実積率(%)	68.1	69.2	62.5	62.8
表乾密度(g/cm ³)	2.60	2.58	2.40	2.66
吸水率(%)	3.30	2.34	5.13	0.58
すりへり減量(%)	—	—	29.4	16.4
安定性損失率(%)	1.6	0.8	3.3	0.9

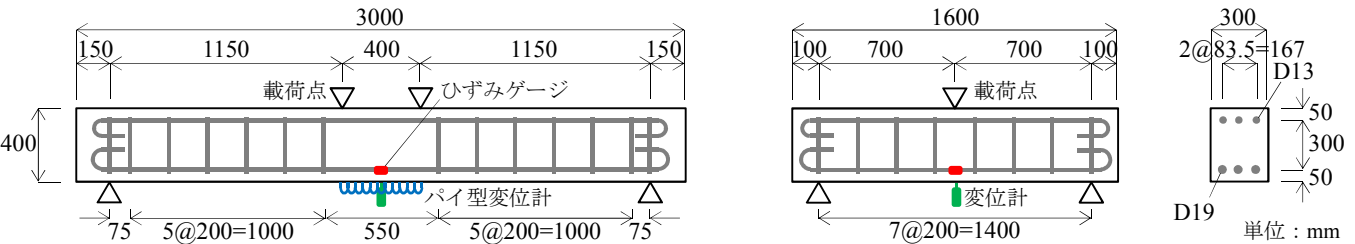


図-1 試験体概要（左： $a/d=3.3$ 、中： $a/d=2.0$ 、右：断面）

キーワード 珊瑚骨材、海水、高流動コンクリート、ステンレス鉄筋、載荷試験、力学特性

連絡先 〒230-0035 神奈川県横浜市鶴見区安善町1-3 東亜建設工業(株)技術研究開発センター TEL:045-503-3741

3. 実験結果

表-3 に管理供試体による強度試験結果を示す。なお、供試体は梁試験体と同じ条件で養生し（型枠脱型材齢 21 日）、強度試験は載荷試験と同日に行った。破壊エネルギーの値から、SW-CA のひび割れ抵抗性は SW-NA に比べて劣ることが確認された。

図-2 に曲げ破壊先行型試験体による曲げモーメントと変位の関係を、図-3 にせん断破壊先行型試験体による荷重と変位の関係を示す。なお、すべての試験体において、圧縮縁のコンクリートが圧壊して終局に至った。SW-CA の最大モーメントおよび最大荷重は SW-NA に比べて小さく、また最大荷重時の変位量も小さかった。この結果から、SW-CA の変形性能は SW-NA に比べて劣ると考えられる。しかし、SW-CA と SW-NA は同じような挙動を示しており、珊瑚骨材を用いた場合でも、普通骨材を用いたコンクリート梁と同程度の力学特性を有すると考えられる。なお、載荷中の SW-CA の曲げひび割れや斜めせん断ひび割れは分散して発生し、SW-NA も同様であった。

参考文献 3)の断面破壊の照査式により算定した計算値（設計断面耐力）と実験値の比較を表-4 に示す。実験値は計算値よりも大きい値となっており、既往の計算式により設計断面耐力を算定できることが確認された。

図-4 に曲げ破壊先行型試験体による開口変位と引張鉄筋ひずみの関係（SW-CA）を示す。なお、参考文献 3)の式により算定した曲げひび割れ幅の計算値を図中に併記した。また、設置したパイ型変位計 11 台のうち、引張鉄筋ひずみが 977μ （計算上ひび割れ幅 0.2mm となるひずみ）に到達するまでに開口変位が計測された 6 台の平均値も併記した。鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値の目安⁴⁾である 0.2mm （ $=0.005c$ （ c :かぶり））以下においては、若干ばらつきはあるものの、既往の計算式により曲げひび割れ幅を推定できると考えられる。

4. まとめ

珊瑚骨材を用いたコンクリート梁は、普通骨材コンクリート梁とほぼ同程度の力学特性を有していることが確認された。また、設計断面耐力および曲げひび割れ幅の算定にあたっては、既往の計算式を用いることが可能であることを示した。

参考文献

- 1) 竹中ら:海水および珊瑚由来の石灰石骨材を用いた自己充填型コンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1567-1572, 2017.
- 2) 田中ら:海水・海砂を用いた自己充填型コンクリート中の鋼材の腐食特性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.36, No.1, pp.1216-1221, 2014.
- 3) 土木学会: 2017 年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕, pp.180-195 および pp.231-233.
- 4) 土木学会: ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針(案), コンクリートライブラリー130, pp.7-8, 2008.9.

表-3 コンクリートの強度特性

配合	圧縮強度 (N/mm^2)	静弾性係数 (kN/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	破壊エネルギー※ (N/mm)
	JIS A 1108	JIS A 1149	JIS A 1113	JCI-S-001-2003
SW-CA	55.4	27.6	4.12	0.135
SW-NA	52.0	29.3	5.87	0.345

※切欠きよりの 3 点曲げ載荷の荷重－ひび割れ開口変位曲線から算出

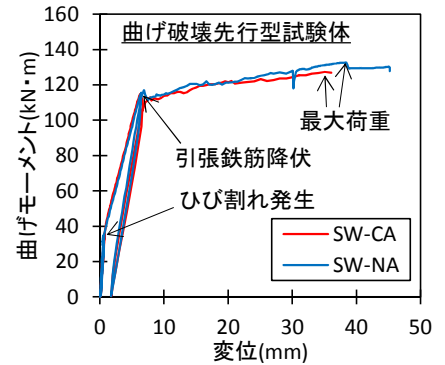


図-2 曲げモーメント－変位関係

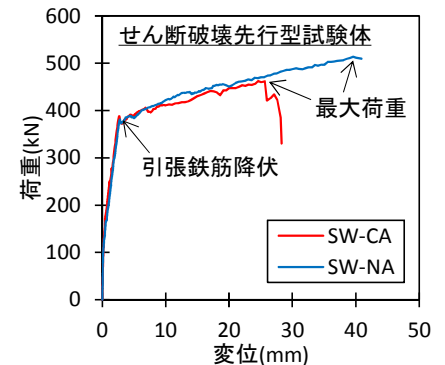


図-3 荷重－変位関係

表-4 実験値と計算値の比較

配合	曲げ耐力($\text{kN}\cdot\text{m}$)		せん断耐力(kN)	
	実験値	計算値	実験値	計算値
SW-CA	127.3	112.4	231.2	218.0
SW-NA	132.7	112.2	256.7	218.0

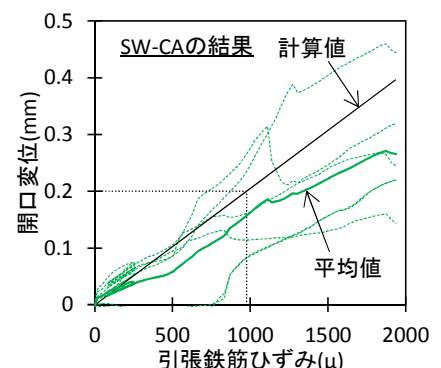


図-4 開口変位と鉄筋ひずみの関係