

震災復興のためのコンクリート技術開発

研究代表者 清宮 理
(創造理工学部 社会環境工学科 教授)

1. 研究課題

東北地方での大震災のように、陸・海路の輸送手段が大きな被害を受けた沿岸地域においては、緊急復旧工事に要する材料の調達や作業員の確保が課題となる。このような条件下でコンクリートを製造・施工する場合、できるかぎり施工場所の近傍で調達可能な海水や未洗浄の海砂などの材料を使用すること、コンクリートの構成材料の種類を最小限に抑え、容易に製造できること、また、自己充填性を有するコンクリートを使用し、締固め作業を省力化することで施工速度を向上することなどが求められる。これまでに現地で調達可能な海水および石灰岩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。なお、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。2017年度の研究では、海水および石灰岩骨材を用いたコンクリートとステンレス鉄筋で構成されたコンクリート梁の載荷試験を実施し、力学特性について普通骨材を用いたコンクリートとの比較、また既往の計算式の適用性について検討した。

2. 主な研究成果

2017年度では、全長の異なる2種類の試験体を各配合1体製作し、曲げ載荷試験およびせん断載荷試験を行った。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 387N/mm^2)、圧縮鉄筋およびせん断補強鉄筋にD13(0.2%耐力 420N/mm^2)とした。なお、鉄筋の0.2%耐力は、引張試験(JIS Z 2241)により得た値である。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、曲げ載荷試験においては、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

※切欠きはりの3点曲げ載荷の荷重－ひび割れ開口変位曲線から算出

コンクリートの配合で SW-CA は海水および石灰岩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、青梅産硬質砂岩碎石）を用いた配合とした。水セメント比は 45%，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。石灰岩骨材は内部空隙を多く有しており，粗骨材は吸水率およびすりへり減量が大きいという特徴を有している。

図-1 に荷重試験体の概要を示す。本検討では，全長の異なる 2 種類の試験体を各配合 1 体製作し，曲げ荷重試験およびせん断荷重試験を行った。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。なお，鉄筋の 0.2%耐力は，引張試験（JIS Z 2241）により得た値である。荷重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，曲げ荷重試験においては，曲げモーメント一定

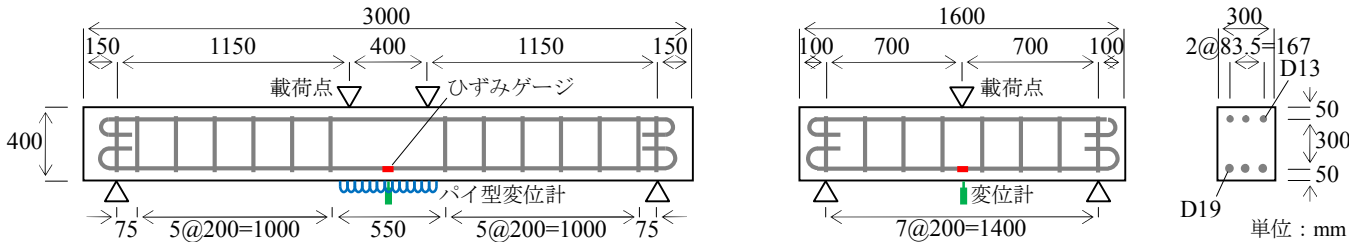


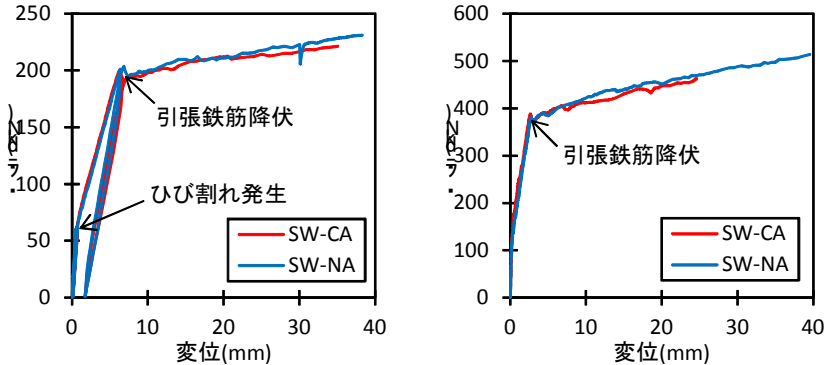
図-1 荷重試験体概要（左：曲げ荷重用，中：せん断荷重用，右：断面）

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 に管理供試験体による強度試験結果を示す。なお，供試験体は梁試験体と同じ養生条件（型枠脱型材齢 21 日）で保存し，荷重試験と同時に試験を行った。

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 に曲げ荷重試験およびせん断荷重試験による荷重と変位の関係を示す。最大荷重は SW-CA に比べて SW-NA の方が大きかったものの，両者は同じような挙動を示した。



(a) 曲げ荷重試験結果 (b) せん断荷重試験結果

図-2 荷重－変位関係

表 2 実験値と計算値の比較

配合	曲げ耐力(kN・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

この結果から、石灰岩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。曲げ載荷においては曲げひび割れが、せん断載荷においては曲げおよび斜めせん断ひび割れが分散して発生した。なお、SW-NA のひび割れ発生状況や破壊形態は、SW-CA と同様であった。

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-2 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。

SW-CA の曲げ載荷試験によるパイ型変位計により取得した開口変位と引張鉄筋ひずみの関係を図-3 に示す。開口変位 0.1mm 以下では、計算値と同程度であった。鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値の目安である 0.2mm 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。

石灰岩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。

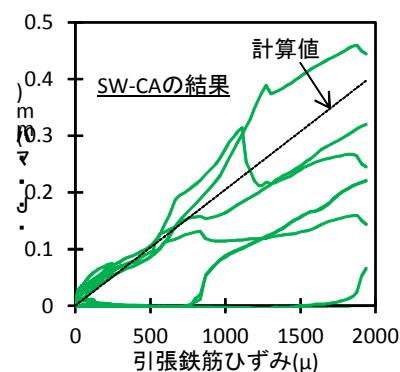


図-3 開口変位と鉄筋ひずみの関係

3. 共同研究者

山路 徹（港湾空港技術研究所材料研究チームチームリーダー早稲田大学客員教授）
佐野 清史（東洋建設株式会社 技術本部 早稲田大学客員教授）
末岡 英二（東洋建設株式会社 美浦研究所長（工博））
内 藤 英晴（五洋建設株式会社 （工博）早稲田大学客員教授）
羽瀧 貴士（東亜建設工業(株)技術研究開発センター（工博）早稲田大学客員教授）
安 同祥（早稲田大学 理工学術院 客員教授）

4. 研究業績

- 1)竹中 寛, 谷口 修, 山路 徹, 清宮 理:海水および石灰岩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,日本コンクリート工学会、コンクリート工学年次論文集、Vol.39,No.1,2017,pp.1567-1572
- 2)竹中 寛,佐野清史, 谷口 修, 田中亮一, 山路 徹,清宮 理:海水および石灰岩由来の石灰岩骨材を用いた自己充填型コンクリートの諸性状日本沿岸域学会,第 30 回全国大会「研究討論会,2017」
- 3)羽瀧貴士, 川端雄一郎, 河村直哉,忽那 惇, 清宮 理,海水を用いた高流動コンクリートの ASR 膨張とその抑制対策に関する実験的検討,日本材料学会,コンクリート構造物の補修,補強,アップグレード論文報告集 Vol.72,No.5,2017,pp1203-1204,

- 1) 竹中寛、末岡英二、佐野清史、清宮理：海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートへのフライアッシュの適用性、コンクリート工学年次論文集、Vol.37,No.1、2015.7、pp.1453-1458
- 2) 酒井貴洋、山路徹、清宮理：海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートの実用化に関する基礎的研究、土木学会論文集,2015.
- 3) 末岡英二、竹中寛、酒井貴洋、田中亮一、山路徹、清宮理：海水・海砂を用いた自己充填コンクリートへのフライアッシュ適用の効果、第5回コンクリート技術大会(盛岡)、2015.10、
- 4) 酒井貴洋、竹中寛、田中亮一、小山広光、山路 徹、清宮 理：海水および海砂を用いた自己充填型コンクリートの基礎特性、コンクリート工学Vol.5,3No.12、2015.12、pp.1038-1045
- 5) Takashi Habuchi、Yuichiro Kawabata、Naoya Kawamura、Ryouichi Tanaka、Jun Kutsuna、Toru Yamaji and Osamu Kiyomiya : Study on ASR Expansion and its Suppressing Measures of Self-compacting Concrete using Sea Water、15th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction、2015.5
- 6) Hiroshi Takenaka、Takahiro Sakai、Hiromitsu Koyama、Toru Yamaji and Osamu Kiyomiya : Fundamental Properties of Self-Compacting Concrete Using Sea water and Sea Sand、International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures (RCCS)、2015
- 7) Takahiro Sakai、Hiroshi Takenaka、Ryoichi Tanaka、Toru Yamaji、and Osamu Kiyomiya : Characteristics and Applicability to Underwater Concrete of Self-Compacting Concrete Using Sea Water and Sea Sand、International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures (RCCS)、2015
- 8) Takashi HABUCHI、Toru YAMAJI、Ryoichi TANAKA、Takahiro SAKAI、Takumi SAWADA、Yoshikazu AKIRA、Kiyofumi SANO and Osamu KIYOMIYA : SITE INVESTIGATION AND CORROSION PREVENTION CAPACITY OF CONCRETE USING SEA WATER AND UNW ASHED SEA SAND、International Conference on the Regeneration and Conservation of Concrete Structures (RCCS)、2015

5. 研究活動の課題と展望

海水や海砂を使用した自己充填型コンクリートは、地震被災地での現地での状況を勘案して各種性状を考慮して有効な活用が期待できるが、塩分を多量に含むことから、鉄筋コンクリートに適用する場合には、エポキシ樹脂塗装鉄筋やステンレス鉄筋を併用するなど耐久性への配慮が必須である。3年間の共同研究により所期の目的は達成できたが、筆者は早稲田大学を2017年度で退職をしたが今後も継続して研究をを別途継続する予定である。