

ステンレス鉄筋と軽量コンクリートの併用による相乗効果に関する研究

長岡技術科学大学大学院 ○高木 耕
長岡技術科学大学大学院 小松 侑矢
長岡技術科学大学大学院 齊藤 駿介
NTTアクセスサービスシステム研究所 國母 航
長岡技術科学大学 正会員 下村 匠

1. はじめに

ステンレスは素材自体が優れた耐食性を有する鋼であり、活用が期待されている材料の1つである。実際にステンレス鉄筋を構造物へ適用するために、JIS規格と土木学会「ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計指針(案)」¹⁾が2008年に制定されている。また、平成24年道路橋示方書では、塩害地域においてステンレス鉄筋はエポキシ樹脂塗装鉄筋と同様に使用してよい旨の記述が追加された²⁾。

しかし、まだ使用実績が多くないこと、材料コストは普通鉄筋と比べて高くなることから、現状として、一般の構造物への適用は見送られることが多い。ステンレス鉄筋が広く活用されるためには、実際の構造物の計画・設計時にステンレス鉄筋が選択肢となるように、その優位性を明確にしておくことが必要である。

本研究では、ステンレス鉄筋の新しい使用方法としてステンレス鉄筋と軽量コンクリートの併用を検討する。両者を併用することで、ステンレス鉄筋の高耐久性、軽量コンクリートの軽量性というお互いの長所を生かしつつ、物質透過抵抗性が低いという軽量コンクリートの短所をステンレス鉄筋の耐腐食性が補うという相乗効果が期待できると考え、試験を行った。

2. 塩化物イオンの浸透による鋼材腐食に対する抵抗性

(1) 実験概要

軽量コンクリートとステンレス鉄筋を併用したさいの塩分浸透による耐久性能を明らかにするた

め実験を行った。

ステンレス鉄筋、普通鉄筋、軽量コンクリート、普通コンクリートの4とおりの組み合わせでかつひび割れありなしの供試体を作製した。

実験に用いた軽量コンクリートおよび普通コンクリートの示方配合を表-1、供試体を図-1に示す。既往研究³⁾をもとに設計基準強度24N/mm²として配合設計を行った。軽量コンクリートの種類は軽量2種とした。D13の鉄筋を埋め込んだ150×150×250mmの供試体を作製し、1面から浸透するように曝露面以外の面(5面)は、水の出入りが生じないように防水処理を行った。また、既往文献⁴⁾を参考にろ紙を使って人工ひび割れを入れた供試体も作製した。

実験は高温環境下での乾湿繰り返し試験を行った。乾湿ともに40℃、吸水過程では塩分濃度3%の水槽に供試体を入れて、1サイクル14日間(乾燥7日間、吸水7日間)で実施した。

実験終了時(180日)において鉄筋を取り出し、腐食状況を目視による比較と、曝露面から深さ方向に10, 20, 40, 80mmの位置におけるコンクリートを採取し、塩分分析を行い塩化物イオン量を測定した。また、採取方法として刃径6mmのコンクリートドリルを用い、図-1に示す採取箇所から深さ60mmまでのコンクリート粉末を採取した。

表-1 示方配合表

種類	W/C [%]	s/a [%]	単位量[kg/m ³]				
			W	C	S	G	AE減水剤
普通	55	46	163	296	848	1029	C×1%
軽量	48	46	159	331	583	614	C×1%

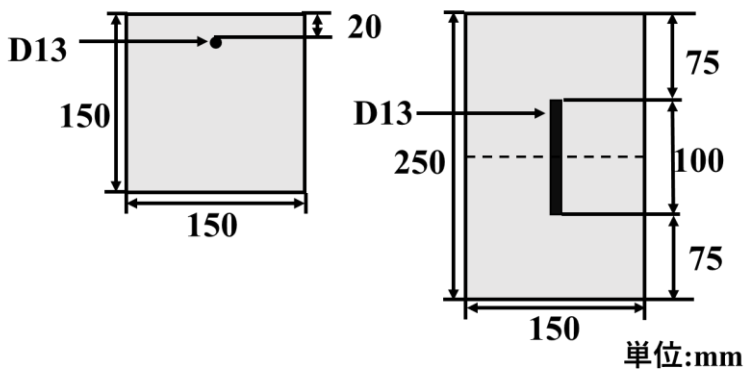


図-1 実験供試体

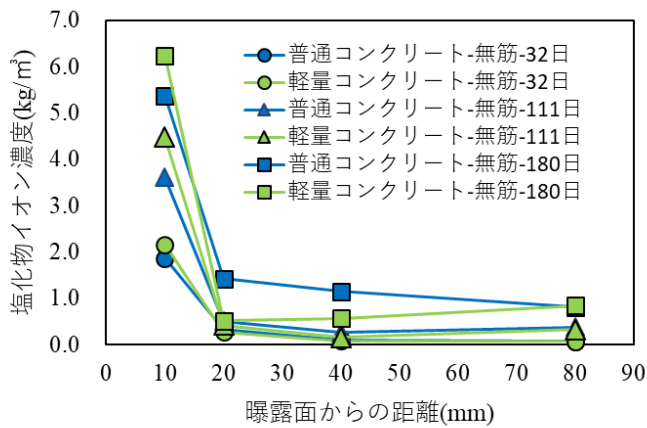
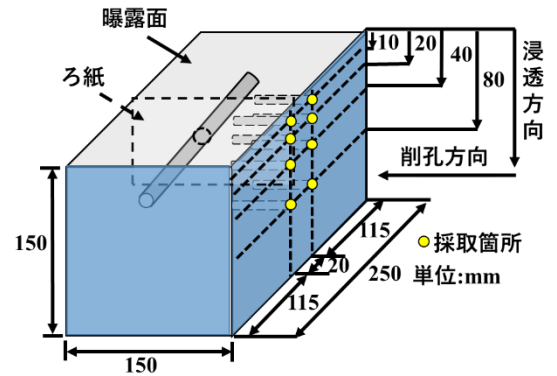


図-2 塩分分析の実験結果 (ひび割れなし)

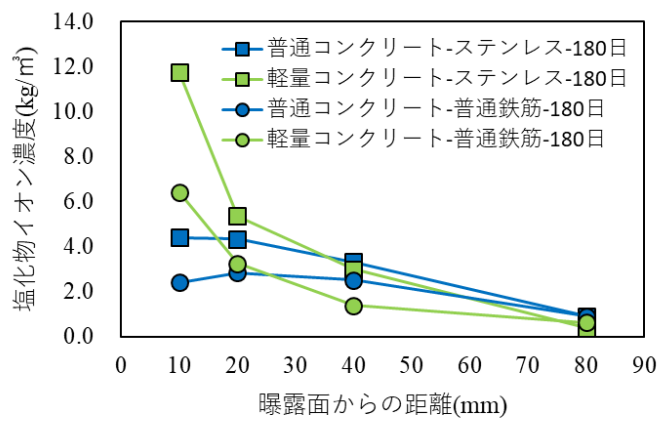


図-3 塩分分析の実験結果 (ひび割れあり)



図-4 鉄筋の腐食状況

(2) 塩分分析の結果および考察

試験開始から 32, 111, 180 日におけるひび割れなしの供試体の塩化物イオン量を図-2, 180 日におけるひび割れありの供試体の塩化物イオン量を図-3 に示す。ひび割れなしの結果を見ると表層部において軽量コンクリートのほうが普通コンクリートに比べると塩化物イオン濃度が大きい。ひび割れありも同様に、軽量コンクリートのほうが表層部において塩化物イオン量が大きい傾向が見られた。したがって、軽量コンクリートを使用して施工する場合、普通コンクリートに比べてかぶりを確保する必要があると考えられる。

(3) 鉄筋の腐食状況

鉄筋の腐食状況を図-4 に示す。ひび割れなしの供試体では普通鉄筋, ステンレス鉄筋ともに腐食は見られなかった。ひび割れありでは普通鉄筋は、普通コンクリート, 軽量コンクリートともに腐食が見られたがステンレス鉄筋ではそれぞれ腐食が見られなかった。したがって、軽量コンクリートのような物質透過抵抗性が低いコンクリートを使用し、かぶりを小さくした場合であっても、ステンレス鉄筋を用いることで高い対塩害性を確保することができるといえる。

3. 曲げ耐荷性状

(1) 実験概要

ステンレス鉄筋と軽量コンクリートを併用した場合であっても、部材の構造性能が普通鉄筋と普通コンクリートを用いた場合と同じように評価できるかどうか確認する。

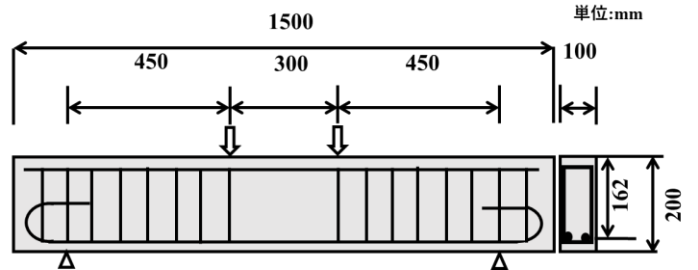


図-5 はりの寸法

表-2 物性値

軽量コンクリート		普通コンクリート	
圧縮強度 [N/mm ²]	26.9	圧縮強度 [N/mm ²]	28.3
弾性係数 [N/mm ²]	15898	弾性係数 [N/mm ²]	29686

普通鉄筋		ステンレス鉄筋	
降伏強度 [N/mm ²]	368	降伏強度 [N/mm ²]	428
弾性係数 [N/mm ²]	195798	弾性係数 [N/mm ²]	198833

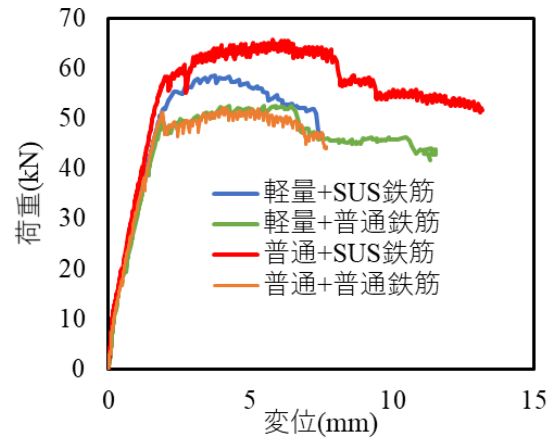


図-6 荷重-変位関係

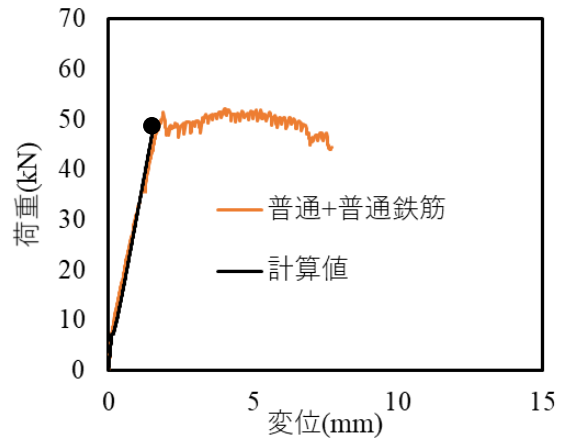
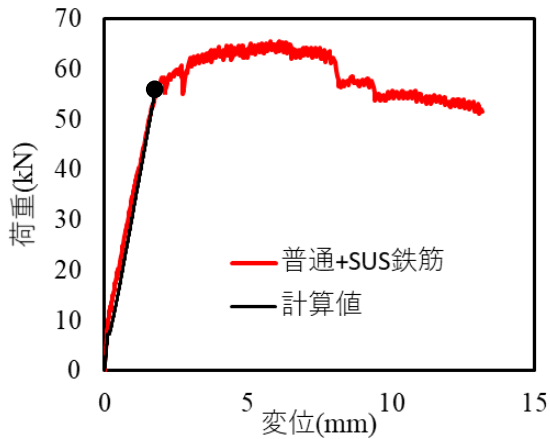
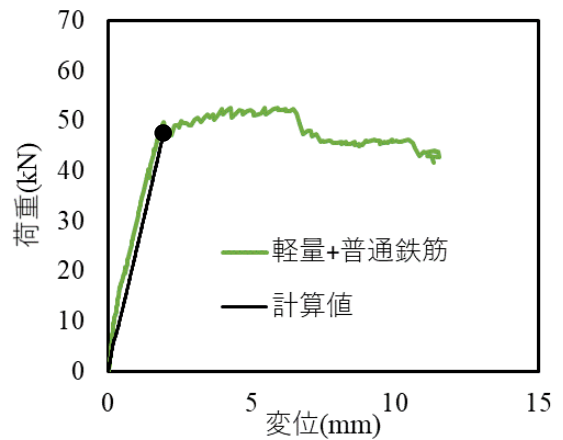
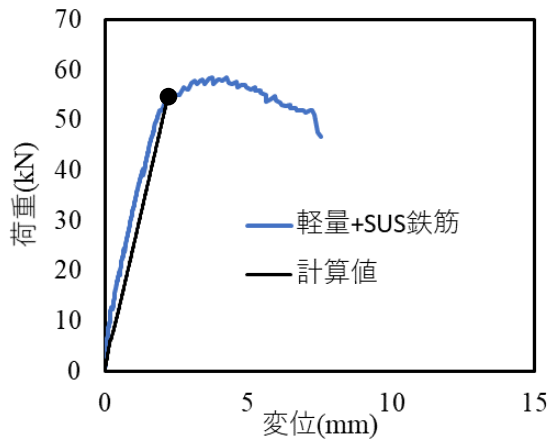


図-7 各RCにおける荷重-変位関係 (計算値)

ステンレス鉄筋，普通鉄筋，軽量コンクリート，普通コンクリートの4とおりの組み合わせでRCはりを作成し，載荷試験を行った。

鉄筋とコンクリートの物性値を表-3に示す。コンクリートの示方配合は物質透過試験と同じとした。したがって，圧縮強度はほぼ同じである。

はりの寸法を図-5に示す。主鉄筋は普通鉄筋，ステンレス鉄筋ともにD16，スターラップはD10を用いた。荷重とはり中央における変位の関係について比較検討を行った。

(2) たわみの計算方法

鉄筋降伏までのたわみはBransonの方法⁵⁾を用いて計算を行った。コンクリートのひび割れ発生後の換算断面二次モーメント I_e は式(1)で表される。

$$I_e = \left(\frac{M_{crd}}{M_d}\right)^4 I_g + \left\{1 - \left(\frac{M_{crd}}{M_d}\right)^4\right\} I_{cr} \quad (1)$$

ここに， M_{crd} ：ひび割れ発生モーメント， M_d ：変位・変形算定時の設計曲げモーメント， I_g ：全断面有効の断面二次モーメント， I_{cr} ：引張応力を受けるコンクリートを除いた断面二次モーメントである。

(3) 載荷試験の結果と考察

載荷試験の結果を図-6に示す。鉄筋の降伏前は普通コンクリートと軽量コンクリートでは荷重-変位関係に大きな違いが見られないが，ステンレス鉄筋を用いた供試体は降伏荷重が大きいことが分かる。これは，今回用いたステンレス鉄筋のほう降伏強度が高いためである。

4とおりの組み合わせのRC供試体の荷重-たわみ関係をそれぞれ計算値と比較した結果を図-7に示す。すべての供試体において実験値と計算値が同じ傾向となったことがわかる。したがって，したがって，構造性能に関しては軽量コンクリート，ステンレス鉄筋を含め今回の実験で用いたいずれの材料を用いても，材料の物性値を実測に基づいて与えることで従来の計算式で評価できる。

4. まとめ

本研究では，ステンレス鉄筋の有効的な活用手段として，軽量コンクリートを併用したときの相乗効果に着眼し，塩化物イオン浸透による鋼材腐食の抵抗性の試験と載荷試験を行った。本研究において得られた知見を以下に示す。

- 1) 厳しい塩害環境下において，物質透過抵抗性の低いという軽量コンクリートの短所をステンレス鉄筋が補うことができ，かつコンクリートのかぶりを小さくすることができるので軽量コンクリートの軽量効果を最大限発揮できることがわかった。
- 2) 軽量コンクリートとステンレス鉄筋を併用しても，構造性能は従来の計算式で評価できることがわかった。

参考文献

- 1) 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号，2008
- 2) 道路橋示方書・同解説，Ⅲコンクリート橋編，日本道路協会，2012
- 3) 人工軽量骨材協会：ALA concrete 技術情報・土木編
- 4) 下村匠，藤田徹，小山和雄：かぶりコンクリートの初期欠陥が鋼材促進腐食物質の侵入に及ぼす影響，土木学会第58回年次学術講演会，2002
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書 設計編標準，4編 使用性に関する照査 p-240，2017