

1. はじめに

コンクリートは金属、プラスチック、木材など他の構造材料に比べ科学的に極めて安定な材料である。また、構造用材料として、材料の入手が容易で、任意の形状の寸法の構造物を経済的に作り得ることができる上、耐久性及び耐火性に優れているとされている。そのため、現在の社会基盤を支える材料として、コンクリートは重要な役割を担っている。

コンクリート構造物は、一度つくってしまえば、供用期間中の維持管理があまり必要ないというメンテナンスフリーの材料と称されていた。しかし、近年、コンクリート構造物の早期劣化が顕在化し、コンクリートの維持管理が社会的な命題となっている。この一例として、コンクリート中に配置されている鉄筋の腐食が挙げられる。これらの構造物は耐用年数よりもかなり前の段階から維持管理を施さないと、構造物としての機能を発揮できない状況となっている。

鉄筋腐食の原因としては、外部からの塩化物の浸入または内部の塩化物混入といった塩害や、中性化などが考えられる。一般に鉄筋コンクリート構造物は、供用期間中に曲げひび割れ、乾燥ひび割れなどのひび割れを生じており、これらのひび割れの存在は、コンクリート内部への水分及び塩化物の浸入を容易にすると考えられる。コンクリート中の塩化物の存在は鉄筋の腐食を促進し、構造物の耐久性に与える影響が多大であることは認識されているが、ひび割れを有するコンクリート構造物中の物質移動に関しては、未だ定量的な評価がないのが現状である。

既往の研究<sup>1)</sup>では、沿岸部を想定して、塩分を含まない RC はりについて研究を行った。本研究では海砂使用を想定し、塩分を含んでいる RC はりについて鉄筋腐食及び構造挙動の相互に及ぼす影響について検討を行う。

2. 実験概要

本研究では、持続荷重を受ける RC はりについて、鉄筋腐食と構造挙動の相互に及ぼす影響を検討する。既往の研究では、塩分を含まない RC はりについて上面から塩水を供給した。それに対し、本研究では、海砂使用のコンクリートの実構造物を想定し、持続荷重を受ける RC はり供試体に水道水噴霧を行った。本実験の特徴は、塩分をコンクリート内部に多量に含むという点と水分を下面から供給する点にある。

鉄筋応力は  $100\text{N/mm}^2$ 、 $200\text{N/mm}^2$ 、 $300\text{N/mm}^2$  の 3 段階に設定し、かぶり厚は 20 mm、30 mm、40 mm の 3 段階を用意した。そこで、かぶり厚と応力レベルのそれぞれの違いによる構造挙動への影響、また水分浸入状況及び腐食状況の違いを検討する。パラメータとして、かぶり厚を変化させる際、はりの有効高さは 210 mm で一定とした。これに対応して、はり高をそれぞれ、240 mm、250 mm、260 mm とした。また、全体の供試体寸法は幅 200 (mm)、長さ 2400 (mm)、有効高さ 210 (mm)、等曲げ区間 800 (mm)、せん断スパン 650 (mm) とした。RC はり供試体は海砂使用を想定し、RC はり供試体は海砂使用を想定し、塩化物イオンを  $5\text{kg/m}^3$  含む供試体 (CLC 供試体) であり、下面より水道水を噴霧した。噴霧の頻度及び量は、50 cc/週を 1 サイクルとして 75 サイクル行い、それ以後は  $(100\text{cc} \times 2)/\text{週}$  を 1 サイクルとして行った。また、供試体内部に電極を設置し、その電極間の抵抗を測定することにより水分の浸入状況を把握した。鉄筋の腐食状況は自然電位法により

|     |      | 鉄筋応力               |                    |                    |
|-----|------|--------------------|--------------------|--------------------|
|     |      | $100\text{N/mm}^2$ | $200\text{N/mm}^2$ | $300\text{N/mm}^2$ |
| かぶり | 20mm | －                  | CLC2-200           | －                  |
|     | 30mm | CLC3-100           | CLC3-200           | CLC3-300           |
|     | 40mm | －                  | CLC4-200           | －                  |

図 1 供試体名表記方法

確認した。構造挙動については、はり両側面のスパン中央に高感度変位計を設置し、中央点における変位を測定した。ひび割れ幅については、コンタクトゲージ法により、把握した。また、各 RC はり供試体名の表記方法について図 1 に示す。

### 3. 実験結果と考察

#### 3-1 水分移動

実験概要で述べた抵抗値は、温度の影響を受け、温度が高いほど抵抗値は低くなる。そのため、全ての測定値は低くなる。全ての測定値を抵抗値の逆数が  $2.5\%/^{\circ}\text{C}$  で変化するととして、 $20^{\circ}\text{C}$  の場合に換算した。測定した電気抵抗を用いて含水状態を把握するため、飽和時の各電極間の抵抗で各水分状況の抵抗値を除いたものを相対抵抗と定義し、その逆数を用い、検討を行った。

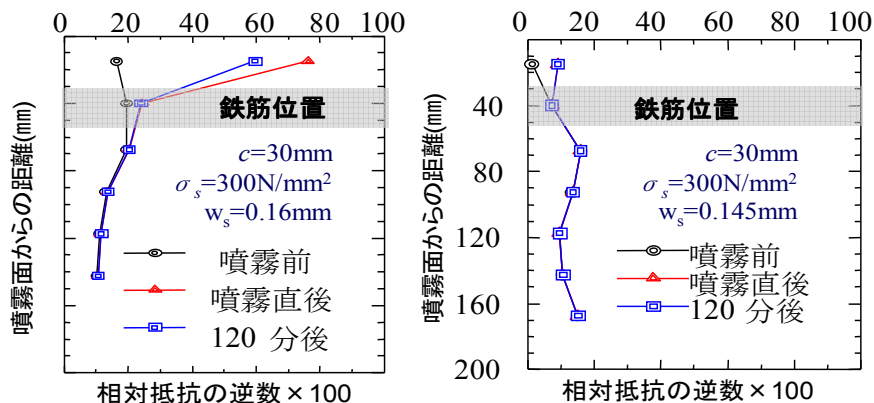


図 2 水分浸入状況

各水分状態はこの相対抵抗の逆数 $\times 100$ を用いて表し、100 に近づくほど湿潤となることを示している。図 2 は左の図が本研究(下面より水を噴霧)で、右図が既往の研究(上面より塩水を噴霧)の水分浸入状態を示している。既往の研究の場合では鉄筋位置まで水分が浸入しているが、本研究では鉄筋位置まで水分が達していない。これは、浸透する力に比べ、重力の影響が大きすぎ、水分が浸入しにくいのだと思われる。

#### 3-2 腐食状況

##### 3-2-1 自然電位経時変化

図 3 にひび割れ部における自然電位の経時変化を示す。本研究においては、照合電極に銀塩化銀電極を用い、ASTM C876<sup>2)</sup>の基準によって腐食の判断を行った。腐食の判断基準は以下の値を想定している。

- 80mV 以上：90%以上の確率で腐食していない
- 80mV 以下、230 以上：不確定
- 230mV 以下：90%以上の確率で腐食が生じている

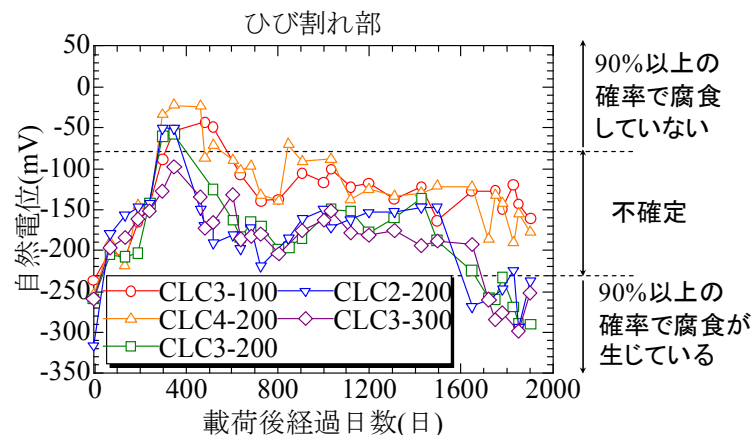


図 3 自然電位経時変化

図 3 に示すように、初期値の自然電位がいずれの供試体に対しても、 $-230\text{mV}$  以下を示す。これは、本実験において予め塩化物イオンを  $5\text{kg}/\text{m}^3$  と多量の塩分を含んでいるためと考えられる。図 2 より CLC3-300、CLC2-200、CLC3-200 供試体は腐食していると判断され、CLC3-100、CLC4-200 供試体は不確定だと判断される。しかし、全ての供試体で底面の腐食ひび割れ発生が目視で確認できた。初期ひび割れ発生時期は CLC3-100、CLC4-200、CLC3-200、CLC2-200、CLC3-300 供試体で各々 1634 日、1700 日、1386 日、880 日、879 日となっている。鉄筋応力の高い CLC3-300 とかぶりの小さな CLC2-200 は腐食ひび割れ発生時期が最も早かった。

##### 3-2-2 ひび割れ状況

図 4, 5 に現時点(載荷後約 1850 日)での各供試体の底面のひび割れを示す。ここで図中の数字及び語句の説明をす

る。底面最大,とは底面において最大腐食ひび割れを指し、丸で囲った場所となっている。

450～1779までの3桁及び4桁の整数は載荷後経過日数でのひび割れの進行状況を示している。また矢印は腐食の進行方向を示している。

かぶりの厚さが違う供試体に注目して比較した場合、かぶり厚さが小さい場合が腐食ひび割れの発生時期も早い。

また、腐食ひび割れの数が多く、鉄筋方向に沿って、比較的早く進行したことがわかる。CLC2-200の場合、かぶりが小さいため鉄筋の伸びひずみに対する鉄筋まわりのコンクリートの抵抗力が弱く、腐食ひび割れが起こりやすくなったと考えられる。鉄筋応力が違う供試体に注目して比較した場合、応力が大きい場合が腐食ひび割れの発生時期も早い。また、腐食ひび割れの数も多く、鉄筋方向に沿って、比較的早く進行したことが分かる。

図6に各はり供試体の側面及び底面において、各供試体の最大腐食ひび割れ幅の経時変化を示す。最大腐食ひび割れ幅は現時点においてCLC3-100、CLC4-200、CLC3-200、CLC2-200、CLC3-300(SI)供試体の底面にそれぞれ0.045mm、0.076mm、0.134mm、0.158mm、0.096mmとなっている。これにより曲げひび割れ部だけでなく腐食ひび割れ部からの水分の浸入が容易になり、腐食が進行しやすくなる。

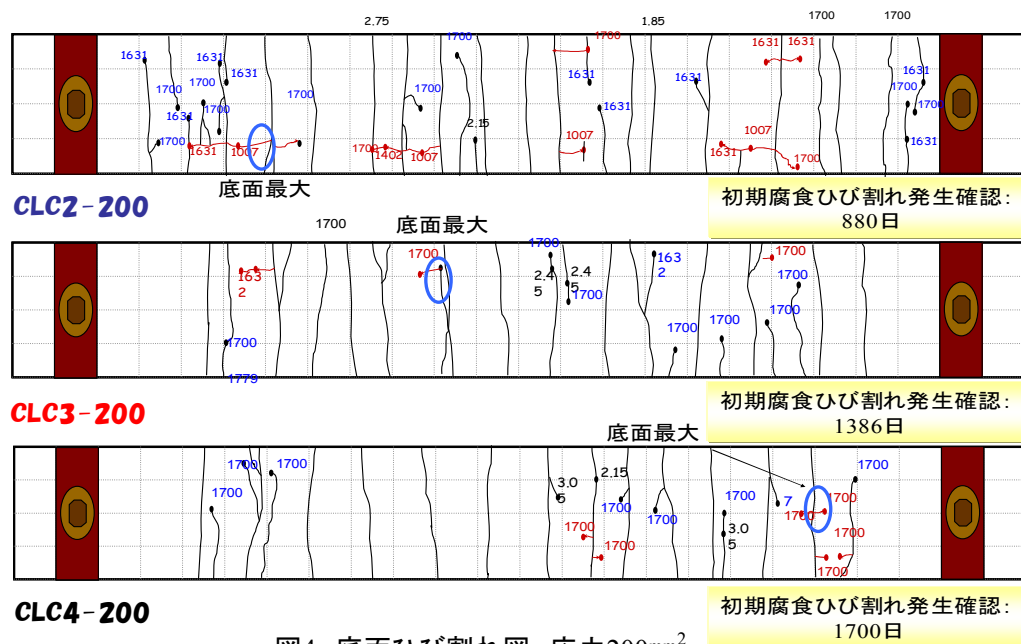


図4 底面ひび割れ図、応力200mm<sup>2</sup>

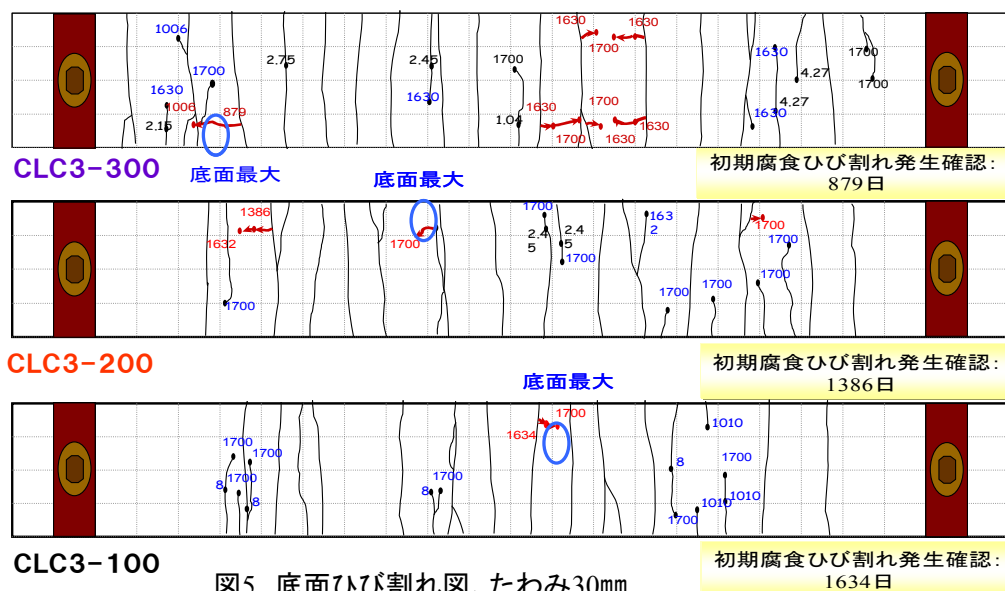


図5 底面ひび割れ図、たわみ30mm

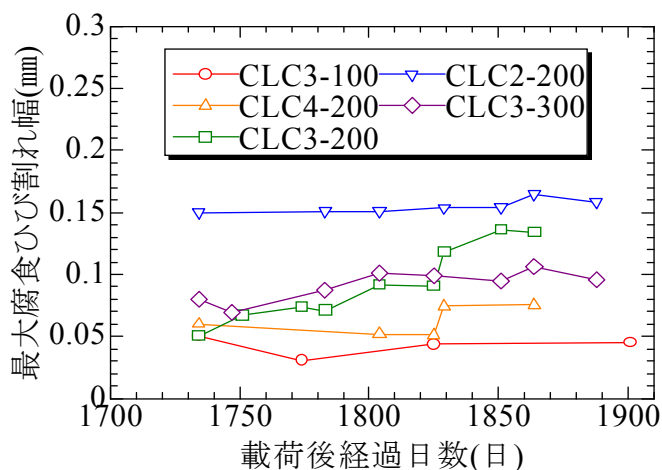


図6 最大腐食ひび割れ幅経時変化

### 3-3 変形挙動

図4にスパン中央たわみの経時変化を示す。左側は鉄筋応力が異なる場合で右側はかぶりが異なる場合を示す。また図中の矢印は各供試体の腐食ひび割れ発生日数を示している。図7

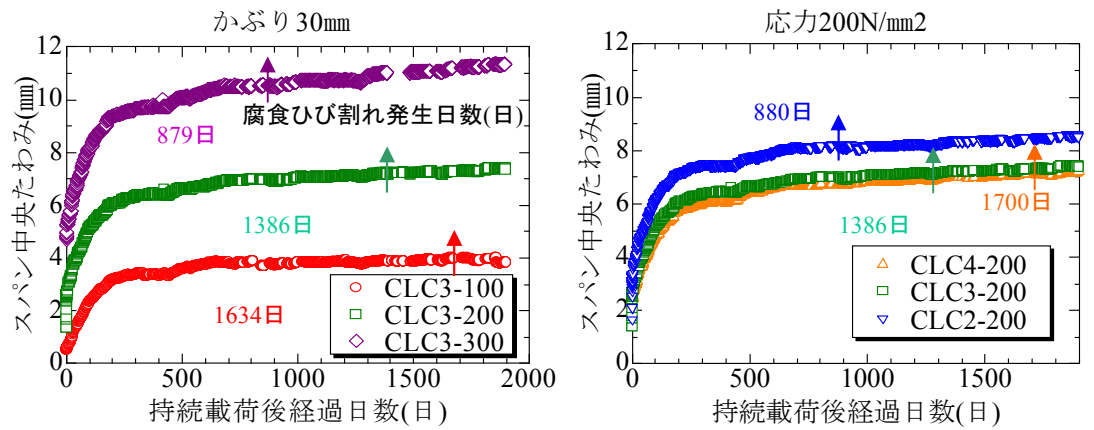


図7 たわみ経時変化

のように、いずれの供試体においても、腐食ひび割れ発生前後において、たわみ増加率の変化は見られない。これは、現時点において、まだ腐食がまだ大きく進展していないためと考えられる。しかしながら、今後腐食ひび割れの進行が大きくなるにつれて、その影響が考えられるので、引き続き長期的検討が必要である。

**4 結論：**噴霧による水分の浸入は現時点、曲げひび割れ部にて鉄筋位置に達していない。自然電位法による判定では CLC3-300、CLC2-200、CLC3-200 供試体はそれぞれ、載荷後 1722 日、1647 日、1722 日に腐食が判断された。CLC2-200 供試体は腐食ひび割れ開始が早く、腐食の進行も大きく、また腐食ひび割れ幅も大きくなった。また腐食ひび割れ発生前後において、たわみの増加率の変化がまだ見られなかった。今後、腐食の進行により、長期たわみの挙動を検討する必要がある。

### 【参考文献】

- 1) ペッカイソノンデッド、沼口文彦、石田剛朗、佐藤良一ら：持続荷重下で塩水噴霧を受ける RC はりの腐食ひび割れと構造挙動、コンクリート工学年次論文報告集、2007
- 2) ASTM C876 : Half cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete