

促進腐食により塩害劣化した RC 部材の鉄筋腐食状態とせん断耐荷性能の評価

神戸大学大学院 学生員 笠松大輔 神戸大学大学院 正会員 森川英典
 西日本旅客鉄道(株) 正会員 湯淺康史 神戸大学大学院 正会員 小林秀恵

1. はじめに：近年，塩害による RC 構造物内部鉄筋の腐食がせん断耐荷性能に与える影響を把握するため，電食¹⁾や切削²⁾などの模擬腐食による実験が数多く行われている．本研究では，より実際に近い腐食環境におかれた RC 部材のせん断耐荷性能を評価するために，5年間促進腐食された供試体を用いて RC はり部材の載荷試験を行った．

2. 実験概要：供試体は，図-1 に示すような 150×220×1200mm の矩形断面 RC はりで，引張鉄筋に D16 を 3 本，圧縮鉄筋に D13 を 2 本，スターラップには D6 を 225mm 間隔で配置，内在塩分として 9.9kg/m³ の塩化物イオンを導入し打設した．この供試体を 2 体作成し，1 年目はスチーム室(温度 60℃，湿度 90%を 3 日間，その後 4 日間乾燥)，2～3 年目は地下室(温度 18℃，湿度 80%)で暴露した．4～5 年目は供試体ごとに暴露方法が異なり，C-1 は屋外暴露，C-2 は乾湿繰返し環境(温度 60℃，湿度 100%の状態を 3 日間，その後温度 18℃で乾燥させる 4 日間)で暴露した．ところで打設時コンクリートの設計基準強度は 15.0N/mm² であったが，長期養生により内部セメントの水和反応が進行したため，20.0N/mm² と打設時に比べ若干の強度増加が見られた．載荷試験は曲げスパンを 200mm とした中央 2 点載荷(a/d=1.84)で，単純支持された供試体に対して鋼製円柱により線荷重を与えた．

3. 促進腐食後の劣化状況：載荷試験前に，供試体表面に生じた腐食ひび割れの観察を行った．図-2 に腐食ひび割れ図を示す．実線は 0.5mm 以上のひび割れ，点線は 0.5mm 未満のひび割れを表す．この図から，圧縮鉄筋に沿ったひび割れは C-1，C-2 とともに側面全体に広がっており，一様に付着が低下していると推定できる．主鉄筋に沿ったひび割れは両供試体で異なっている．C-1 は側面に沿ったひび割れは見られるが，底面に沿ったひび割れはほとんど見られない．対して C-2 は側面，底面ともに大きなひび割れが入っており，主鉄筋の付着は一様に低下していると思われる．また，塩害劣化した供試体内部の鉄筋腐食劣化状態を把握するために，載荷試験終了後内部鉄筋をはつり出し，腐食面積率，腐食減量率を測定した．結果を表-1 に示す．これより，C-2 は C-1 に比べ，腐食面積率，腐食減量率は総じて大きくなる結果となった．特に C-2 の主鉄筋の腐食減量率は C-1 に比べ 2 倍以上となっており，主鉄筋の腐食の程度が明らかに異なっている．また，両供試体ともスターラップの腐食減量率が大きく，腐食ひび割れが発生してもおかしくないが，スターラップの鉄筋径が小さいために腐食ひび割れは発生しなかったものと推測できる．このことから，促進腐食に伴うスターラップの付着低下は起こらなかったものと思われる．

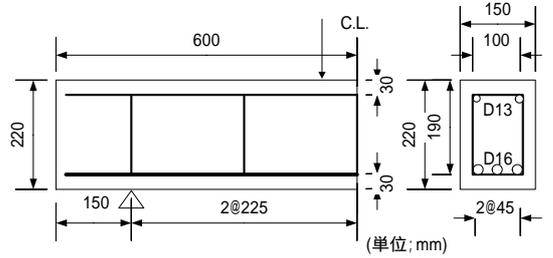


図-1 供試体寸法図

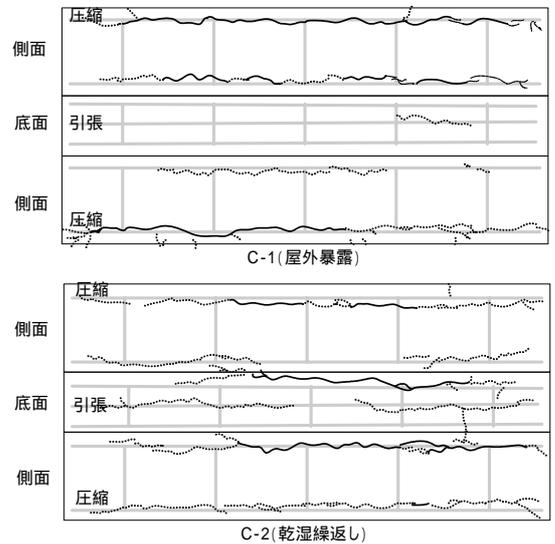


図-2 腐食ひび割れ図

表-1 腐食鉄筋の評価

供試体名	鉄筋種類	腐食面積率(%)	腐食減量率(%)
C-1	圧縮鉄筋	91.1	8.08
	主鉄筋	80.9	3.46
	スターラップ	88.8	8.03
C-2	圧縮鉄筋	100	8.68
	主鉄筋	100	7.86
	スターラップ	100	10.42

キーワード 塩害，促進腐食，局部腐食，RC 部材，せん断耐荷性能

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学部 TEL 078-881-1212

次に各鉄筋に対して局部的な腐食の発生状況を調査した。平均腐食量からの変動量で表した局部腐食量の頻度分布を図-3に示す。この結果、C-2は平均腐食量に近い0.5を中心に対称に分布しているが、C-1は、腐食が大きい方向へ非対称に広く分布している。また、実橋梁から採取した鉄筋を用いて検討された平均断面減少率と最大断面減少率の関係³⁾と本実験との比較を図-4に示す。これから、今回の実験環境はやや厳しいといえるものの、実際の塩害をよく模擬出来ているといえる。C-1は平均断面減少率が小さい段階から大きな腐食が観察されており、このことからC-1における局所的な腐食の発生がうかがえる。これらから、促進腐食環境の違いにより内部鉄筋の腐食状況に違いが生じ、実環境に近い屋外暴露環境下で塩害を受けた場合、腐食は一様に進展するのではなく、局所的に進行する傾向にあることが分かった。

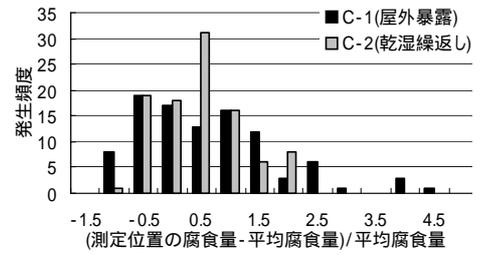


図-3 局部腐食発生頻度

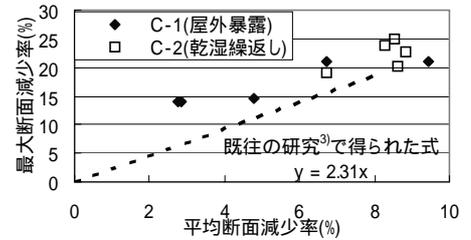


図-4 平均断面減少率と最大断面減少率

4. 荷重試験結果：表-2に、荷重試験結果、二羽式による評価値との比較を示す。なお、スターラップ分担荷重の算定に際して用いた鉄筋の降伏強度は、前述した腐食減量率を用いて計算した値(C-1：226.5N/mm²，C-2：213.7N/mm²)とした。Vmaxに

表-2 荷重試験結果

供試体名	コンクリート強度(N/mm ²)	実験値(kN)			実験値/評価値		
		Vc	Vs	Vmax	Vc	Vs	Vmax
C-1(屋外暴露)	20.04	94.4	28.7	123.1	1.04	1.00	1.03
C-2(乾湿繰返し)	20.04	118.0	27.0	145.0	1.30	1.00	1.23

Vc:コンクリート分担荷重 Vs:スターラップ分担荷重 Vmax:最大荷重

に関して比較すると、C-2がC-1を大きく上回る結果となっており、せん断耐荷機構が変化した可能性が伺える。C-1に関してはVmax、Vcともに評価値と比較的合う結果となっており、せん断耐荷機構の変化は起こっていないと推測できる。対してC-2は、特にVcが評価値を大きく上回っていることから、せん断耐荷機構が一部アーチ機構に移行したと思われる。この違いは、主鉄筋の付着性能の違いによるものと思われ、前述の通り、乾湿繰返し環境下では腐食が一様に進行し主鉄筋の付着が均一に低下したため、C-2はせん断耐荷機構が一部アーチ機構に移行したのに対し、屋外暴露環境下では腐食が局部的に進行し主鉄筋の付着性状が不均一になっていたため、C-1はアーチ機構に移行しなかったものと推察される。さらに、両供試体ともスターラップの腐食は大きいですが、これによるせん断耐力の低下は見られない。これはスターラップの腐食に伴う腐食ひび割れが存在していないため、付着力の大幅な低下がなかったことによるものと推察される。図-5に腐食ひび割れと荷重試験によるひび割れを示す。曲げひび割れについて比較すると、C-1に比べC-2はひび割れの分散性が小さいことが伺える。このことから、C-2の主鉄筋の付着性状は一様に小さくなっており、一部アーチ機構により耐荷したものと推察できる。

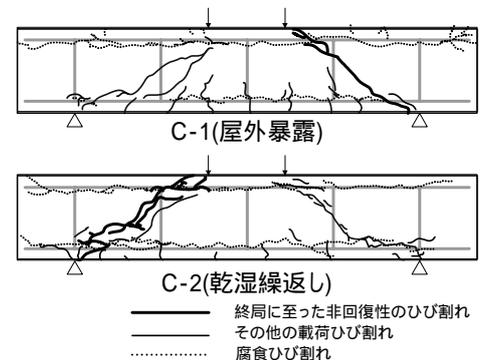


図-5 荷重ひび割れ図

5. 結論：実環境に近い屋外暴露環境で塩害を受けた場合、内部鉄筋の腐食は局部的に進行する傾向にあることが分かった。また同期間促進腐食させた場合でも塩害劣化環境の違いにより、主鉄筋の付着低下に伴うアーチ機構の発現状況が異なることが分かった。

【参考文献】

- 1) 佐藤，宮川：コンクリート工学年次論文集，Vol25，No.1，2003.
- 2) 橋本，森川：コンクリート工学年次論文集，Vol25，No.2，2003.
- 3) 加藤，守分：コンクリート工学年次論文集，Vol28，No.1，2006.