

ひび割れを有するシールド工用セグメントの初期劣化進展とその考察（2）

－ 塩化物イオンの浸入に対する性能 －

金沢工業大学大学院(現,ハザマ) ○学生員 三村 聡
 金沢工業大学 坂井雄治郎
 金沢工業大学 正会員 木村 定雄

1. はじめに

近年、建設コストの縮減が求められシールドトンネルにおいては、二次覆工を省略する傾向が高まっている。したがって、これまで二次覆工に求められてきた耐久性能を一次覆工であるセグメントが担う必要がある。また、シールドトンネルの用途は様々であることから、トンネルの劣化要因も用途に応じて異なると考えられる。そこで、筆者らは事前調査からシールドトンネルの内側から作用する主劣化要因として乾湿繰返し作用および塩化物イオンの浸入を抽出した。

一方、実際のセグメントは施工時荷重などによりその建設当初にひび割れなどが生じるケースがある。

本報告では、未貫通なひび割れを有する鉄筋コンクリート製セグメントが、乾湿繰返し作用および塩化物イオンの浸入を受けた場合の初期の劣化進展(鉄筋腐食)とそれが曲げ性能に与える影響について述べたものである。

2. 実験概要

セグメントの配合実績の調査結果から本研究に用い

表-1 示方配合

| W/C (%) | S/C | 単体量(kg/m ³) | | | フロー値 (mm) | 空気量 (%) |
|---------|-----|-------------------------|-----|------|-----------|---------|
| | | W | C | S | | |
| 40 | 2.5 | 241 | 603 | 1506 | 118±3 | 3.6±0.2 |

C：普通ポルトランドセメント(密度 3.16)
 S：六日町産陸砂(密度 2.65, 粗粒率 2.92, 吸水率 2.4%)

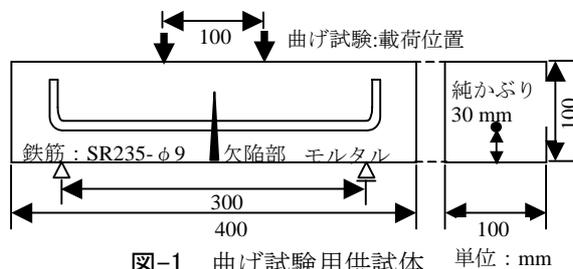


図-1 曲げ試験用供試体 単位：mm

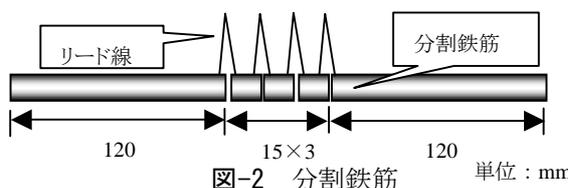


図-2 分割鉄筋 単位：mm

る供試体の配合を表-1 に示す。なお、セグメントの模型となる供試体はモルタルで作製した。図-1 に、曲げ試験用供試体の諸元を示す。初期ひび割れ幅の導入は3点曲げ載荷により、表面の開口幅が0.1~0.2mm および0.2~0.4mm の2 ケースを代表としたひび割れを導入した。なお、比較のためにひび割れを導入しない供試体も作製した。また、鉄筋の腐食速度を直接的に把握するために図-2 に示す分割鉄筋¹⁾を埋設した供試体を作製した。なお、分割鉄筋がひび割れ導入時の曲げにより破壊することを防ぐため、全面をエポキシ系樹脂で被膜した補強鉄筋もあわせて埋設した。ひび割れ開口面からのみ CI を浸入させるため、ひび割れ開口面以外の5面にエポキシ系樹脂を塗布した。実際のセグメントの製造方法を考慮して打設後から促進養生までの初期養生の条件および促進養生の条件をそれぞれ図-3 および図-4 に示す。また、比較のために気中養生(20℃, 60%RH)を施す供試体もあわせて作製した。表-2 は照査指標とその試験方法を示したものである。初期の鉄筋腐食および曲げ性能は、材齢30日の試験結果を用いて評価した。

3. 実験結果およびその考察

(1) CI の浸入による鉄筋腐食：図-5 より、表面からの

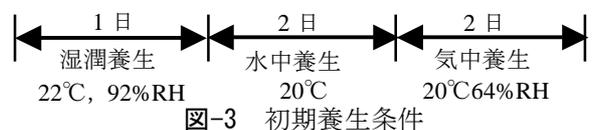


図-3 初期養生条件

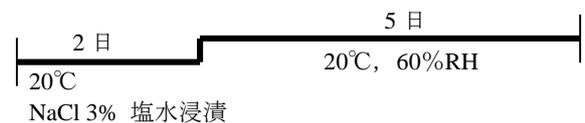


図-4 促進養生条件(1cycleあたり)

表-2 試験方法と照査指標

| 評価項目 | 試験方法 | 照査指標 |
|------|--------|---------------|
| 曲げ性能 | 圧縮試験 | 圧縮強度 静弾性係数 |
| | 曲げ試験 | 曲げ耐力 曲げ剛性 |
| 鉄筋腐食 | 硝酸銀噴霧法 | 塩化物イオン浸入深さ |
| | 腐食電流測定 | 腐食速度 |

キーワード：シールドトンネル、セグメント、ひび割れ、塩害、長期性能

連絡先：〒921-8501 石川県 石川郡 野々市町 扇が丘 7-1

TEL：076-248-8426 FAX：076-294-6713

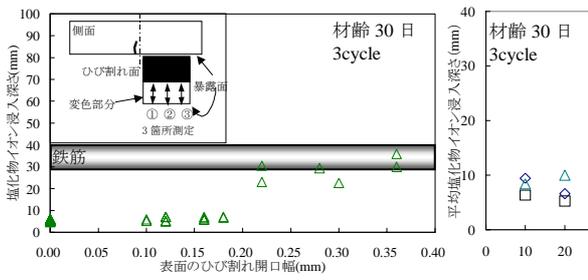


図-5 Cl⁻の浸入深さ

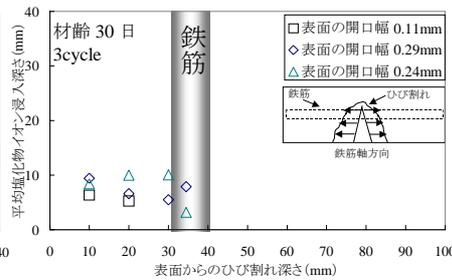


図-6 鉄筋軸方向の Cl⁻浸入深さ

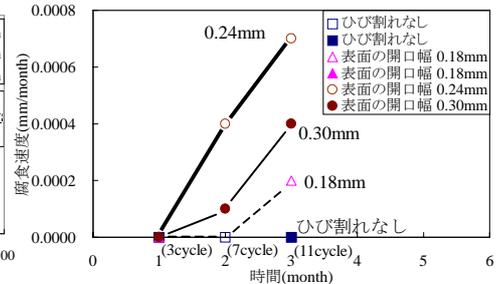


図-7 腐食速度の経時変化

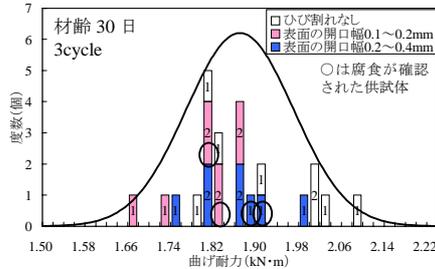


図-8 曲げ耐力の密度分布

表-3 照査指標の実験値

| | 圧縮強度 (N/mm ²) | 静弾性係数 (N/mm ²) | 曲げ耐力 (kN·m) |
|----------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| データ数(個) | 14 | 11 | 24 |
| 平均値 | 61.4 | 2.55×10 ⁴ | 1.87 |
| 偏差 | 5.93 | 0.15×10 ⁴ | 0.10 |
| 変動係数 (%) | 9.66 | 5.78 | 5.35 |

※1 偏差は普遍分散の平方根とした。

※2 変動係数は((偏差/平均値)×100(%))とした

Cl⁻の浸入深さは、ひび割れのない箇所で 4.7~6.2mm、表面のひび割れ開口幅が 0.1~0.2mm のケースで 5.1~7.1mm であった。したがって、表面のひび割れ開口幅が 0.2mm 以下ではひび割れの存在が Cl⁻の浸入深さにほとんど影響を与えていなかった。一方、表面のひび割れ開口幅が 0.2~0.4mm のケースでは、Cl⁻の浸入深さが表面のひび割れ開口幅の大小にかかわらず鉄筋位置まで到達していた。以上のことから、表面のひび割れ開口幅が 0.2mm 前後で、Cl⁻の浸入のしやすさが分かると考えられる。このことは、既往の研究²⁾でもみられる傾向である。図-6 は、ひび割れ内面から鉄筋軸方向のモルタル内部への Cl⁻の浸入深さを表面のひび割れ開口幅別に示したものである。表面にひび割れを有すると、ひび割れ内面から鉄筋軸方向へも Cl⁻が浸入していることが確認された。なお、その深さは、表面の浸入深さとほぼ同じであった。

次に、鉄筋腐食の状況を見る。図-7 は腐食速度の経時変化を示したものである。材齢 3 ヶ月目に着目すると表面のひび割れ開口幅の大きさによって腐食速度に差が生じていた。ひび割れを有するケースでは、目視によって鉄筋に若干の腐食が認められた。表面のひび割れ開口幅が大きい方が腐食面積が大きかった。これらのことから、Cl⁻が浸入して不動態皮膜が破壊される現象とともに、鉄筋の腐食に必要な O₂ と H₂O の供給はひび割れ開口幅の影響を受けるものと考えられる。

(2)曲げ性能：曲げ耐力に影響を与える要因は、モルタルの圧縮強度と静弾性係数、鉄筋の降伏点と引張強さ、ひび割れ導入の影響および鉄筋の腐食による影響が挙

げられる。表-5 および図-8 は照査指標の実験値を示したものである。なお、この実験値は中性化促進や乾湿繰返し等の実験ケースの試験結果も含まれている。実験値の変動係数を比較すると、曲げ耐力はモルタルの圧縮強度と静弾性係数の影響を受けていないと判断される。また、図-8 をみると、導入したひび割れおよび初期の鉄筋腐食の曲げ耐力への影響は小さいものと判断される。なお、ひび割れ導入時の鉄筋ひずみは 200~1000μであり、初期の性能として鉄筋は降伏していないことを確認している。

4. まとめ

材齢 30 日(3 サイクル)初期の劣化進展では、表面の開口幅が 0.2mm 以下のひび割れであれば Cl⁻の浸入深さはひび割れのない部分とほとんど変わらない。一方、表面の開口幅が 0.2mm 以上のひび割れを有すると鉄筋位置まで Cl⁻が浸入する。鉄筋腐食は、ひび割れを有することにより早期に不動態皮膜が破壊され進行する。また、ひび割れ幅が大きいとその速度は相当に大きいことも確認した。一方、初期の腐食の程度では、それが曲げ耐力に影響を与えるまでに至っていない。以上のことから、欠陥を有する場合には Cl⁻の浸入量のみならず、直接的に腐食電流の測定を行うことで鉄筋腐食を評価することが必要であると考えられる。

【参考文献】

- 1) 宮里他：分割鉄筋を用いたマクロセル電流測定方法の実験的・理論的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.2，2001。
- 2) 西川他：腐食環境下におけるコンクリート部材のひび割れ幅と塩分量の関係に関する実験的検討，土木学会第 50 回年次学術講演会概要集第 V 部門，pp298~299，1995.9。