

塩化物イオンを比較的多く含む RC 高架橋スラブのひび割れ原因に関する一考察

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 ○松橋 宏治

鉄道総研 正会員 谷村 幸裕 正会員 曾我部 正道 正会員 轟 俊太郎

1. はじめに

本研究では、塩化物イオンを比較的多く含み、ひび割れが多数発生した既設鉄道 RC 高架橋スラブにおけるひび割れの発生原因について、詳細な構造物調査結果に基づき考察を行った。

2. 対象構造物

調査の対象構造物は、供用開始後 32 年が経過した、図 1 に示す形状寸法の鉄道 RC ラーメン高架橋の中間スラブ下面を対象とし、同一高架橋の連続 3 スラブ（スラブ 1～3）に対し行った。当該高架橋の周囲は、水田や木々の生茂った小高い山で、高架橋下の状況は無舗装の空き地となっている。地上からスラブ下面までの距離は 8000mm 程度で、地上から目視した限りでは、かぶりコンクリートの剥落やエフロレッセンス等を伴うひび割れなどの目立った変状や、漏水跡など外部から水分が供給された痕跡は確認されない。ただし、同高架橋の柱には帯鉄筋や軸方向鉄筋に沿ったひび割れや剥離・剥落が見られ、別途調査により初期塩化物イオンと中性化との複合による鉄筋腐食劣化であると推定された。構造物のコンクリートの材料特性に関しては、設計基準強度 f_{ck} が 24N/mm^2 、最大水セメント比 W/C が 55%（設計値）であることが確認されているのみである。また配筋図より、中間スラブ下面の最外縁には、D16 鉄筋が 125mm 間隔で橋軸直角方向に配置されている。また、設計かぶりは 30mm である。

3. 調査内容および方法

調査は、近接目視および打音による変状確認調査、

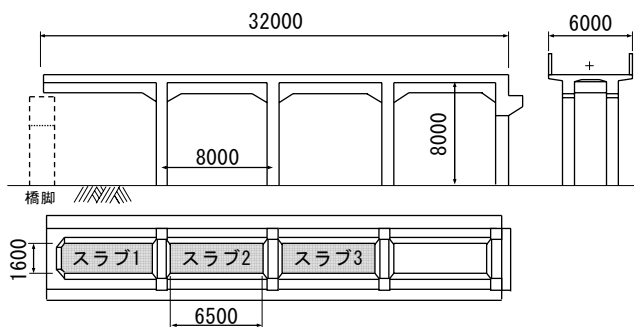


図1 対象構造物の形状寸法 (単位: mm)

およびかぶり、中性化深さ、塩化物イオン濃度の測定を行った。1 スラブに対する測定箇所を図 2 に示す。

かぶり測定は、最外縁鉄筋を対象に 1 スラブ当り 50 本程度に対して行った。測定は、まず電磁波レーダーにより鉄筋を位置出しし、電磁誘導法による鉄筋探査機を用い、鉄筋 1 本当り 3 点のかぶりを測定した。

塩化物イオンの測定は、中央 1 箇所に対して行った。本調査では、初期塩化物イオンを対象としており、表面からの深さ 80～110mm 位置の深部から採取したドリル削孔粉（ $\phi 20\text{mm}$ ）に対し、電位差滴定法（JIS A1154）により全塩化物イオン濃度の分析を行った。なお試料採取後、残粉末を丁寧に除去した上で孔内にフェノールフタレイン 1% 溶液を噴霧し、ノギスにより中性化深さを測定した。ドリル削孔 1 箇所につき 4 点測定した。

また、スラブ 2 に対しては中性化深さの部位によるばらつきを把握する目的で、更に 6 点のドリル削孔を行い、前述と同様の方法により中性化深さを測定した。

4. 調査結果

近接目視、打音により確認したスラブ下面の変状について、代表例としてスラブ 1 の変状図を図 3 に示す。

図 3 より、スラブ 1 には最外縁鉄筋に沿ったひび割れが多数生じており、局部的ではあるが剥離・剥落が生じている箇所も確認された。ひび割れ幅は 0.05～0.3mm 程度である。また、スラブ 2 および 3 に関しては、剥離・剥落は確認されなかったが、ひび割れ状況は図 3 とほぼ同様であった。

次に変状状況の定量化を行う。ここでは、鉄筋位置のコンクリート表面に鉄筋軸方向へ 100mm 間隔で設けた変状確認点における変状の有無を確認し、変状箇所

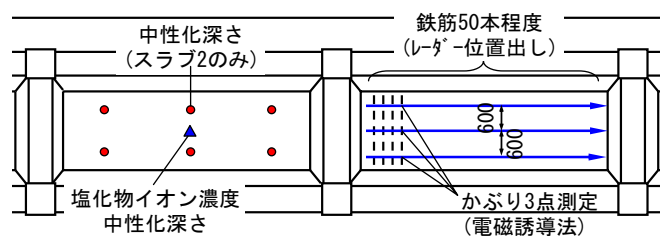


図2 測定箇所略図 (単位: mm)

キーワード 構造物調査、鉄道高架橋、RC スラブ、ひび割れ、塩化物イオン、鉄筋腐食

連絡先 〒163-0730 東京都新宿区西新宿 2-7-1 パシフィックコンサルタンツ(株) 鉄道部 TEL 03-3344-0594

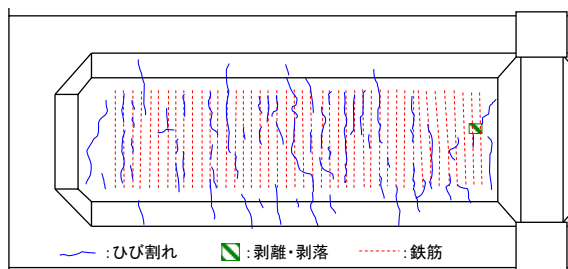


図3 変状図（スラブ1の例）

数の全体に対する割合（以下、変状発生率）を整理した。変状確認点は鉄筋1本当たり15箇所、1スラブ当りでは750箇所程度である。表1に、上記の方法で整理した変状発生率を

表1 変状発生率

示す。表1より、ひび割れ発生率は30.2～38.9%、剥離・剥落発生率は0.0～0.3%であった。

	ひび割れ	剥離剥落
スラブ1	30.2%	0.3%
スラブ2	38.9%	0.0%
スラブ3	31.9%	0.0%

表2に、各種測定結果のまとめを示す。各スラブの塩化物イオン濃度は1.909～2.300kg/m³、全スラブの平均は2.047kg/m³で、コンクリート標準示方書¹⁾において鉄筋腐食が開始する限界塩化物イオン濃度とされる1.2kg/m³を超える塩分量が確認された。

中性化深さについては、スラブ毎の平均は23.3～24.7mmで、全スラブの平均は24.2mmであった。また、かぶりについては、スラブ毎の平均は29.3～32.0mmで、全スラブの平均は31.0mmであった。中性化深さ、かぶり共にスラブ毎の平均値は、調査した各スラブでほぼ一定となっている。スラブ毎の平均かぶりから平均中性化深さを差し引いた数値を平均的な中性化残りと考え、その数値は6.0～7.3mmである。塩化物を含む場合、中性化残りが15mm程度を下回ると鉄筋腐食程度の高い構造物が増加するとの報告²⁾があるが、本調査結果の中性化残りはこれを大きく下回るものであった。

なお、1スラブに対する測定値の変動係数は、中性化深さでは0.14（スラブ2）で、かぶりでは0.06程度（全スラブ）であり、中性化深さとかぶりのスラブの部位によるばらつきは小さい結果であった。

5. ひび割れの発生原因に関する考察

表2に示す各種測定の結果、調査対象スラブのひび割れは、塩化物イオンに起因する鉄筋腐食が主たる発生原因と推定される。これは、塩化物イオン濃度が他のスラブと比較して1.2倍程高いスラブ2において、ひび割れ発生率が大きくなっていることからある程度裏付けられるが、更に詳細な分析を行うこととする。鉄

表2 各種測定結果のまとめ

	塩化物イオン濃度(kg/m ³)	中性化深さ平均値(mm)	かぶり平均値(mm)
スラブ1	1.932	23.3	29.3
スラブ2	2.300	24.5	31.8
スラブ3	1.909	24.7	32.0
平均	2.047	24.2	31.0

筋腐食による変状の発生状況については、かぶりとの関連が大きいと考えられるため、前述した変状確認点におけるかぶりの変状との関係を整理する。図4に、変状発生率をかぶり毎に整理した結果を示す。ここで、変状確認点におけるかぶりは、鉄筋1本当たり3点で測定したかぶり値の関数補間による推定値である。図4より、剥離・剥落が最もかぶりの小さい24mm程度でのみ発生していること、(b)スラブ2において、かぶりの減少とともにひび割れ発生率が大きくなる傾向が見られることから、鉄筋腐食による変状発生の特徴が若干確認される。しかし、(a)スラブ1および(c)スラブ3におけるひび割れ発生率は、比較的大きなかぶりにおいても一定割合でひび割れが生じていることから、図4に示すひび割れには収縮等の影響によるものが多く含まれている可能性があると考えられる。

6. まとめ

(1)高架橋RCスラブ下面に対する各種調査の結果、塩化物イオンに起因する鉄筋腐食が主たる原因と推定されるひび割れが多数生じていた。

(2)調査で得られた変状とかぶりとの関係について整理した結果、鉄筋腐食による変状の場合に想定される特徴が若干確認されたものの、収縮等の影響による変状も多く含まれる可能性があることが伺えた。

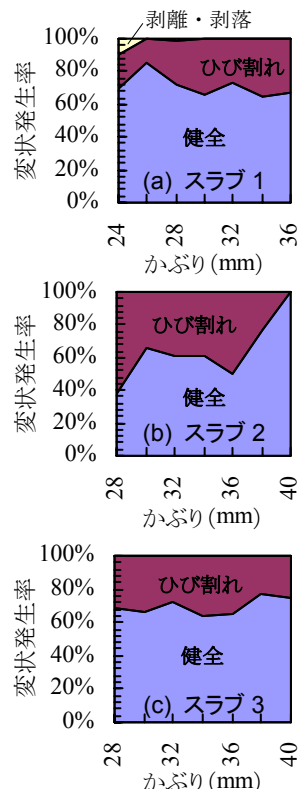


図4 かぶり毎の変状発生率

参考文献

- 1) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書 設計編，2008.
- 2) 山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会：山陽新幹線コンクリート構造物検討委員会報告書，2000.7