

ひび割れ発生状況に基づく供用RCT桁に対する作用の組合せの推定

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐藤 浩二 渡辺 健

1. 目的

鉄筋コンクリート (RC) T 桁のひび割れの発生は、コンクリートの乾燥収縮、温度変化、荷重の載荷除荷といった様々な事象が同時にあるいは、順序を変えて作用していることに依存している。発生しうる作用の全ての組合せや順序に対応することは、数値解析の計算負荷が大きく、将来予測における課題である。よって、影響が大きい作用の組合せを特定することが重要である。そこで、本研究では、鉄道構造物として供用されている RCT 桁のひび割れ発生状況を参考に、温度変化の有無、列車荷重の有無、乾燥収縮・クリープ量を変数とし、3次元有限要素解析を用いて RCT 桁への影響について検討を行った。

2. 検討概要

FEM は、汎用構造解析コード DIANA10.1¹⁾を用いた。図-1 に検討に用いた RCT 桁の概要と材料特性値を示す。コンクリートの応力-ひずみ関係は、Hordijk 曲線（引張特性）と Parabolic 曲線（圧縮特性）を使用した。鉄筋は、埋込み鉄筋要素を用いてモデル化した。

表-1 に、検討ケースを示す。図-2 に対象とした RCT 桁近傍の気象観測所における気温と、解析に用いた温度を示す。なお、T1, T3, T4 は供用期間中の最高・最低気温である $-6.7^{\circ}\text{C} \sim 38.5^{\circ}\text{C}$ で温度を変化させ、T2 については、 20°C 一定とした。対象の RCT 桁は、列車荷重を供用開始（材齢 5 年）以降受け続けているが、解析では、移動荷重として上り線 1 回、下り線 1 回、上下線同時 1 回を載荷・除荷する組合せを、図-2 に示す時期に計 8 回与えた。なお、T3, T4 については、列車荷重を与えずに検討を行った。乾燥収縮・クリープは、図-3 に示すモデル A²⁾とモデル B³⁾を用いた。なお、モデル A を適用する際は、スラブ上面の相対湿度 (RH) を 90%、スラブ下面を 80%、桁を 70% と設定することで、雨水によるスラブ上面の水環境を考慮した。モデル B では、全ての部位に対し唯一の RH (70%) を設定した。

図-4 に、供用下の RCT 桁のひび割れ図を示す。ひび割れは、主にスラブで発生しており、橋軸方向に進展

したものが多く見られた。また、中央スラブを格子状に分割した基準線と、ひび割れの交点でひび割れ幅を計測した結果、平均値は 0.19mm ($N=214$) であった。

3. 検討結果と考察

(1) 温度変化の有無の影響

図-5、図-6 に温度変化を考慮した T1 と、温度一定

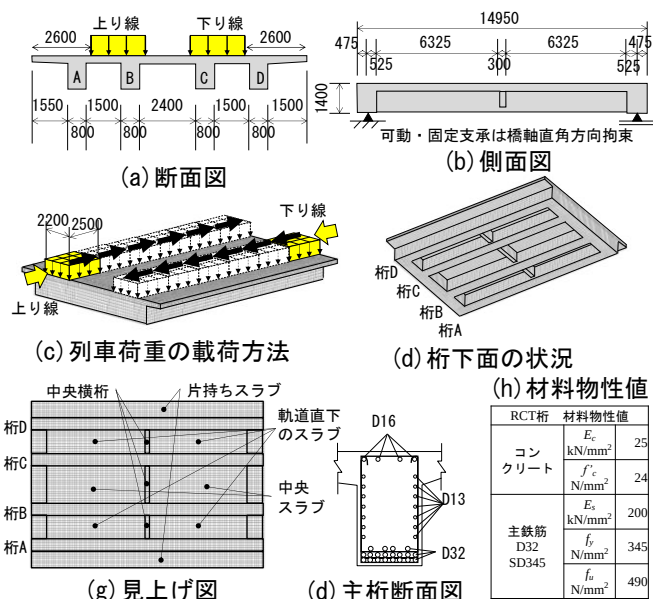


図-1 RCT 桁の概要と材料特性値

表-1 検討ケース

ケース名	モデルA (長期の変位変形の算定に用いる式)	モデルB	温度変化あり ($-6.7 \sim 38.5^{\circ}\text{C}$)	温度一定 (20°C)	列車荷重
T1		○	○		○
T2		○		○	○
T3		○	○		
T4	○		○		

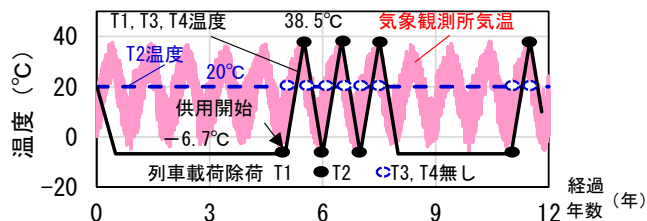


図-2 気象観測所の気温と解析上の温度・荷重条件

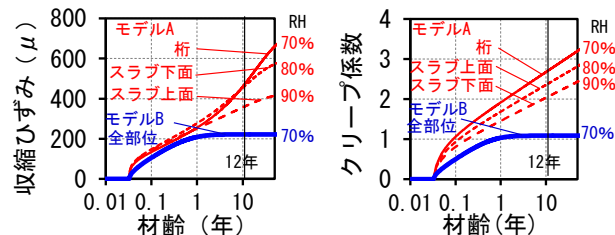


図-3 解析上の乾燥収縮・クリープ

キーワード RCT 桁、乾燥収縮、列車荷重、温度変化、ひび割れ

〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部コンクリート構造 TEL042-573-7281

とした T2 の材齢 12 年のひび割れひずみ分布を示す。T2 では、スラブにひび割れが発生せず、T1 では、図-4 と同様にスラブにひび割れが発生した。これは、乾燥と温度の低下に伴う収縮が同時に作用することで、ひび割れが発生したと考えられる。よって、T2 のように乾燥収縮のみではひび割れが発生しない部位でも、温度低下との組合せで、ひび割れが発生することが分かった。次に、図-7 に T1 のひび割れ幅（ひび割れひずみを要素長で除して算出）の分布を示す。中央スラブのひび割れ幅は 0.1mm 以下で、実構造物の中央スラブの平均ひび割れ幅より小さいことが分かった。このため、T1 の乾燥収縮量（モデル B）では、実構造物のひび割れ幅を再現できない可能性があることが分かった。

(2) 列車荷重の有無の影響

列車荷重載荷後の T1 では、図-8 (a) に示す通り、軌道直下のスラブに橋軸方向のひび割れが発生した。なお、図-4 でも概ね同様の位置にひび割れが見られた。これに対し、列車荷重を載荷していない T3 では、図-9 (a) の通り、この位置でひび割れは発生しなかった。また、T1 では、列車荷重の載荷（材齢 5 年）でひび割れが多数発生した後は、図-8 (b) の通り材齢 12 年でもひび割れひずみの増加は小さい。一方、T3 では、図-9 (b) の通り、材齢 5 年以降も乾燥収縮が進行し、中央スラブのひび割れひずみが増加した。なお、図-10 (a) に示す通り、T3 よりも乾燥収縮量が大きく、列車荷重を載荷していない T4 では、軌道直下のスラブに橋軸方向のひび割れが発生した。よって、このひび割れは、列車荷重を載荷せずに乾燥収縮を進行させるだけでも発生するひび割れであることが分かった。このことから、列車荷重は、見かけ上、収縮によるひび割れの発生と進展を促進しており、列車荷重の載荷時期が、乾燥収縮によるひび割れの発生時期に影響すると考えられる。

(3) 乾燥収縮式の影響

図-10 (b) に示す通り、乾燥収縮・クリープ量が大きいモデル A を用いた T4 のひび割れ幅分布は、モデル B を用いた T1 の図-7 に比べて、概ね実構造物に近いひび割れ幅であった。このことから、図-4 に示す RCT 桁のひび割れ幅は、モデル B よりもモデル A を用いた方が、再現性が高いと考えられる。

以上の検討結果より、ひび割れ発生状況から検討対象の RCT 桁には、モデル A と最低気温に加えて、列車荷重が組み合わされて作用したものと推定される。

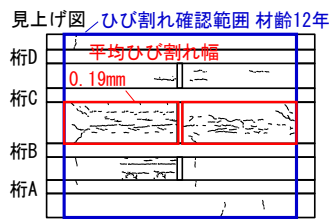


図-4 RCT 桁のひび割れ

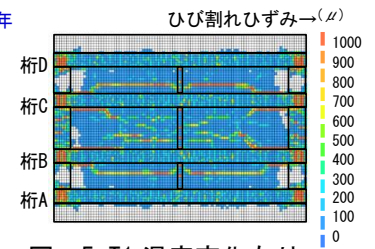


図-5 T1 温度変化有り

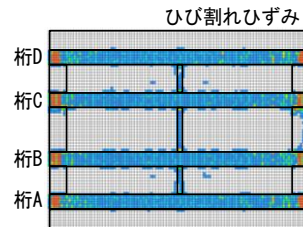


図-6 T2 温度一定

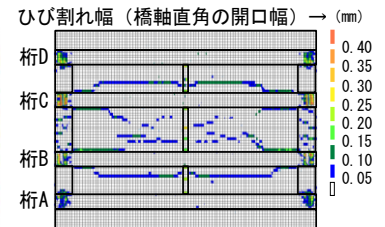
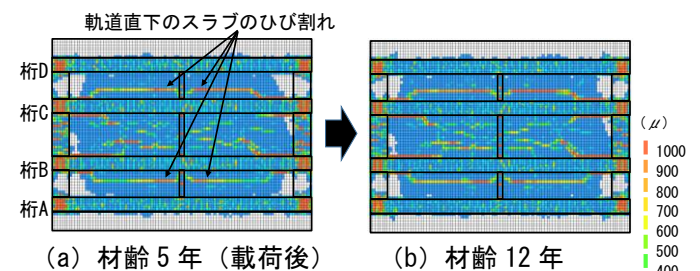


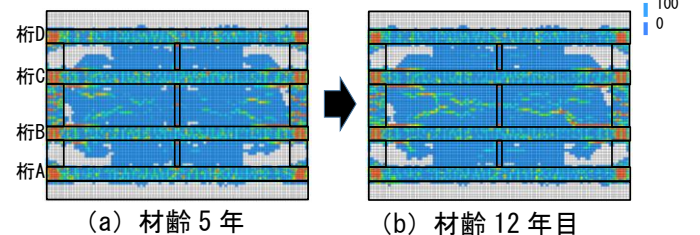
図-7 T1 ひび割れ幅分布



(a) 材齢 5 年 (載荷後)

(b) 材齢 12 年

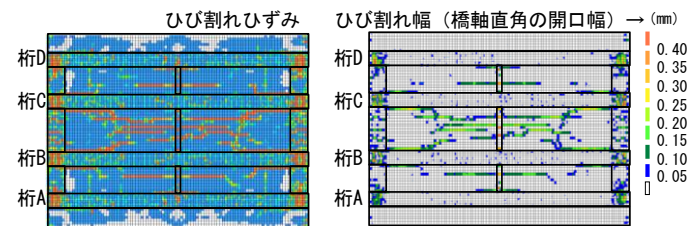
図-8 T1 列車荷重有りのひび割れひずみの変化



(a) 材齢 5 年

(b) 材齢 12 年目

図-9 T3 列車荷重無しのひび割れひずみの変化



(a) ひび割れひずみ分布

(b) ひび割れ幅分布

図-10 T4 モデル A を用いた場合のひび割れ

4. まとめ

- (1) 乾燥収縮と温度の低下の組み合わせで、実構造物と同様の部位にひび割れが発生することを確認した。
- (2) ひび割れ状況から対象 RCT 桁には、モデル A、最低気温、列車荷重の組合せが作用したと推定される。

参考文献

- 1) DIANA-10.1 User's Manual -Material Library first ed.2017.2
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書[設計編], 2013.3
- 3) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造, 丸善, 2004.4