

ASRが生じたRC床版における薄層剥離の発生機構に関する考察

大日本コンサルタント (株) 正会員 ○田口 実季
 大日本コンサルタント (株) 小橋 朋和
 大日本コンサルタント (株) 森田 浩隆
 大日本コンサルタント (株) 今井 竜也

1. はじめに

RC床版上面(天端～上面鉄筋付近)に、幾層もの水平ひび割れ(以降、薄層剥離と呼ぶ)およびそれが進展した後に輪載荷の影響を受けて床版上面の砂利化が生じた橋梁があり、変状の原因究明のための詳細調査をおこなった。寒冷地であるが、地覆などの露出部でスケーリング等の変状がないため凍害の可能性は除外でき、塩分も検出されたものの鉄筋被り部分における薄層剥離の説明は困難と思われた。薄層剥離箇所のコンクリート面には反応リムと思しき箇所があったため、コンクリート片をSEM-EDSで分析したところ、アルカリシリカゲルが確認されたことから、ASRが変状の主原因と考えられた。薄層剥離が起こる理由は、床版上面に路面水が供給された結果ASR膨張が生じ、これが床版面内で拘束されることが影響していると推察できる。本稿は、その機構を明確に説明するために簡易なFEM解析を用いて現象の再現を試みた結果を報告する。

2. 再現方法

対象橋梁は2径間連続鋼非合成4主鈑桁橋、RC床版厚さは200mmである。これを模した簡略な1/4FEMモデルを作成した。モデルは鋼主桁(横桁を省略し下横構を直交バーで再現)および床版および地覆をソリッド要素で構成し、鋼桁と床版との接合は完全一体とした。橋軸(y軸)および橋軸直角(x軸)の直交断面を面外拘束とし、鋼桁の支点部分は鉛直(z軸)方向の回転のみ自由とした。材料物性をTable.1に示す。床版上面側60mmの厚さ範囲に時系列で漸増する等方性の膨張ひずみをFig.1,2,3のように与えた。膨張ひずみの導入範囲と導入量および時期をTable.2のように変化させ、その結果生じる応力を比較した。

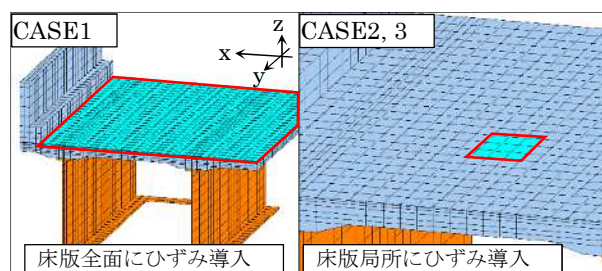


Fig. 1 FEMモデル

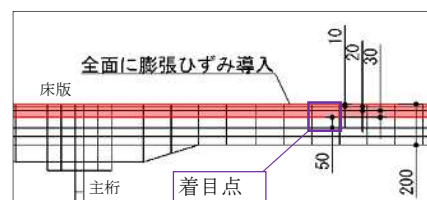


Fig. 2 CASE1 膨張ひずみ導入範囲

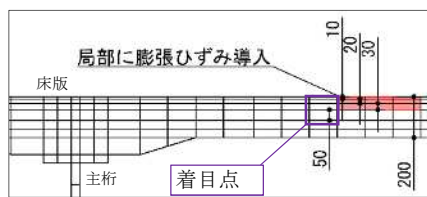


Fig. 3 CASE2, 3 膨張ひずみ導入範囲

3. 解析結果

1) CASE1

床版全面に一樣にASR膨張が生じたと仮定したケースである。膨張ひずみを $10,000\mu$ まで導入した結果、床版下側(非膨張コンクリート)で水平方向に引張応力が生じたが、どこにも鉛直方向応力は発生しなかった。着目点における鉛直応力ー導入した膨張ひずみの関係をFig.6に示す。

2) CASE2

床版上で局所的にASR膨張が生じたと仮定したケースである。非膨張コンクリートの床版上面より60mmの要素では、隣接する膨張コンクリートのひずみ導入量に伴って鉛直方向応力が漸増し、膨張ひずみが 360μ の時点で 2N/mm^2 に達した。60mmより深い箇所では鉛直方向応力は生じなかった。また膨張コンクリートの縁端に鉛直方向の圧縮応力が生じたが、膨張コンクリートの中心部にその反作用と考えられる鉛直方向の引

Table. 1 材料物性

	鋼	コンクリート
ヤング率(N/mm ²)	2.E+06	2.E+04
ポアソン比	0.3	0.2
引張強度(N/mm ²)	490	1.96

Table. 2 解析水準

	CASE1	CASE2	CASE3
0~10(mm)	0~	0~	0~1000 μ
10~30(mm)	10,000 μ	10,000 μ	0~1000 μ
30~60(mm)			0~1000 μ

キーワード RC床版, ASR, 水平ひび割れ, 薄層剥離, ひずみ差, 床版砂利化

連絡先 〒451-0045 名古屋市西区名駅2-27-8 名古屋プライムセントラルタワー18F

大日本コンサルタント(株) 中部支社 構造保全計画室 TEL052-581-8994

張応力が生じた。着目点における鉛直応力ー導入した膨張ひずみの関係を Fig.7 に示す。

3) CASE3

膨張範囲は平面的に CASE2 と同じ範囲とし、膨張ひずみを導入する 60mm の要素を床版上面から 3 層に分け、其々に時間差で膨張ひずみを導入したもので、床版上面からの水分の浸透深さに時間的遅延が発生し、それに連動して上から順に ASR 膨張が生ずると仮定したケースである。膨張ひずみは最初に 0~10mm の層に単位時間あたり 0~1000 μ まで導入し、1 単位時間において 10~30mm, 30~60mm にも順次同様に導入した。その結果、非膨張コンクリートは隣接する膨張コンクリートのひずみ増大に呼応する形で鉛直方向応力が漸増し、導入ひずみが 330 μ の時点で 2N/mm² に達した。また、膨張が時間経過で深部に移行する同時期に非膨張コンクリートは隣接する膨張コンクリートと同じ深度で鉛直方向の引張応力を生じた。60mm より深い箇所では鉛直方向の引張応力は生じなかった。また CASE2 同様、膨張コンクリートの中心部に鉛直方向の引張応力が生じた。着目点における鉛直応力ー時間経過 (=導入した膨張ひずみの時系列表示) の関係を Fig.8 に示す。

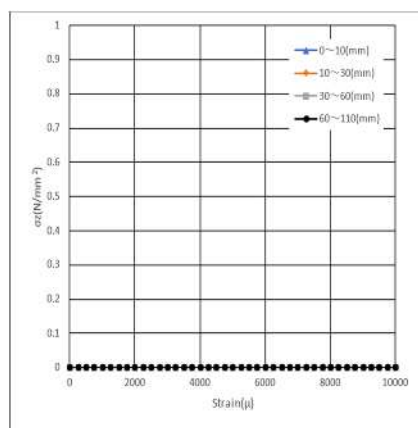


Fig. 6 Strain- σ_z (CASE1)

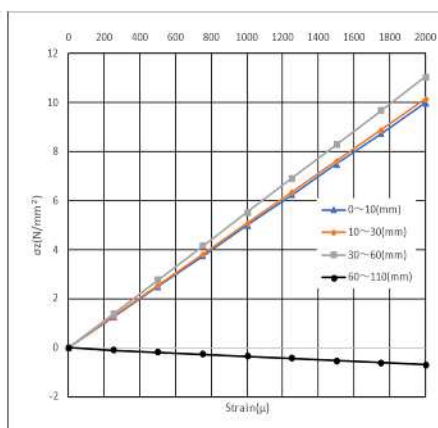


Fig. 7 Strain- σ_z (CASE2)

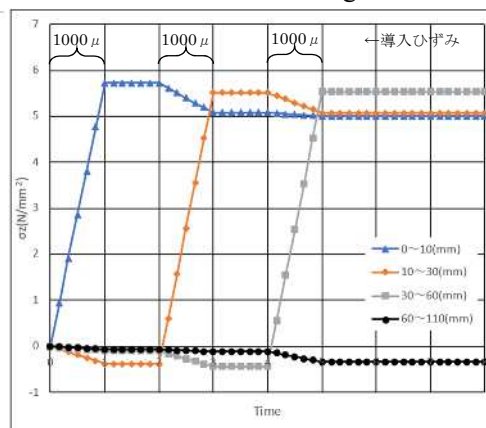


Fig. 8 Time- σ_z (CASE3)

4. 考察

解析結果から以下のことが言える。

1) 床版面に局所的なひずみ差が生ずると、拘束側となる非膨張コンクリートで鉛直方向の引張応力を生じる。この引張応力の大きさはひずみ差と比例し、また膨張層の厚みにも影響を受けるようであるが、本解析条件では膨張ひずみ 330 μ でコンクリート引張強度を超えた。一般に ASR の膨張ひずみは骨材種や配合や気象条件等により大きく異なるものの、1000 μ を超える事象が多く確認されていることから、床版防水の局所的な機能喪失により床版上面の滞水があれば局所的な ASR 膨張が発生し、水平ひび割れが発生する可能性は充分にあると考えられる。また、反作用の影響で、膨張コンクリートの中心部でも鉛直方向の引張応力が生ずる。

2) ASR 膨張が床版上面から時間経過で徐々に層状に深部に移行する場合、隣接する非膨張コンクリートも時期を合わせて同じ深度で鉛直方向の引張応力が生じることから、幾層もの薄層剥離が起こりえる。

3) ひずみ差がある場合でも、膨張コンクリートより下の深度では非膨張コンクリートに鉛直方向の引張応力は発生しない。見方を変えれば、床版下面から見た変状と床版上面に起こる変状は必ずしも同様にならない。

一方、今回は薄層剥離の発生原因が ASR 膨張にあることを簡便に検証するために簡略なモデルを用い、下記の点については考慮していなかったため、機会があればさらに詳細な検討を進めたい。

4) 鉄筋の配置をモデル化しなかったため、鉄筋による拘束の影響や鉄筋断面がコンクリート断面の欠損部となることの影響などを考慮できていない。

5) モデルの要素メッシュが粗かったため、算定応力や発生位置には相応の誤差を含むと考えられ、さらに詳細なモデルを用いた再検証を要する。

6) 弾性解析ソフトを用いたため、塑性域～引張破壊後の挙動については不明である。つまりひび割れ発生後の応力再配分による影響が考慮されていないため、実際の現象とどの程度整合するか不明な点もある。