

論文

ASR 縮小モデル供試体の輪荷重走行試験

横山広*, 角間恒**, 榎谷浩***, 久保善司****, 西弘明**

*博 (工), 大日本コンサルタント, インフラ技術研究所 (〒330-6011 埼玉県さいたま市新都心 11-2)

** 博 (工), (国研) 土木研究所, 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-34)

***工博, 金沢大学教授, 理工学域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

****博 (工), 金沢大学准教授, 理工学域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

材料問題が道路橋床版の劣化原因となる事例が顕在化するようになり, 特に積雪寒冷地で凍結防止剤が散布される地域では, アルカリ供給によるアルカリシリカ反応の促進や鋼材腐食の問題も影響を及ぼす複合劣化が報告されている. 本研究では, 複合する劣化要因として車両通行による疲労に加え, 反応性骨材によるひび割れが及ぼす影響を把握するために, 輪荷重走行試験を実施した. 反応性骨材は経験的に床版劣化に影響を及ぼす例が多いことが分かっている細骨材に使用している. 試験の結果, 上面走行部分の土砂化の程度に違いが生じ, 反応性細骨材供試体で劣化範囲が広く分布することが認められた.

キーワード: 反応性骨材, 輪荷重走行試験, 土砂化

1. はじめに

道路橋床版の劣化には輪荷重走行試験機の開発によりその劣化機構が解明された疲労の他に, 近年の調査研究により材料劣化に伴う複合劣化も数多く報告され, 国内に広く顕在化していることが報告されている. 材料劣化には一部地域で確認されている内在塩分や積雪寒冷地での凍結防止剤散布による塩害, 反応性骨材によるアルカリシリカ反応 (以下, ASR と称す.), 凍結融解による凍害等があり, 環境条件や交通量の違いにより損傷の形態や程度も異なる複雑な対応が求められるようになってきた.

ASR は, これまで北陸地方の橋梁下部構造など体積の大きい構造物で劣化事例が報告されてきた経緯がある. それに対して道路橋床版は厚さが他の構造物と比較しても薄く乾燥しやすい構造であることから, その劣化要因として ASR が注目され始めたのは最近のことであり¹⁾, 床版劣化としての広がりも北陸地方のみならず東北地方や北海道地方まで存在することが分かってきている²⁾.

これらの背景から本研究では, 疲労と ASR との複合劣化に着目し, たわみ劣化の進行やその他の損傷の発生の有無を確認することを目的として, 反応性を有する細骨材を用いて小型モデル供試体を製作し, 水張環境下での輪荷重走行試験を実施することとした. なお, ASR の影響を比較するものとして一般骨材を用いた供試体も対象とした.

2. 試験概要

2.1 輪荷重走行試験

輪荷重走行試験では写真-1 に示す国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所が所有しているクランク式の試験機を使用し, 載荷試験プログラムでは初期の 1 万回



写真-1 輪荷重走行試験機

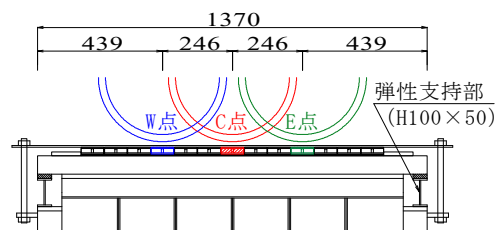


図-1 たわみの計測位置

表-1 コンクリートの配合

| 供試体記号 | 配合 | 水セメント比 (%) | 空気量 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | | | |
|-------|--------------|------------|---------|----------|--------------------------|-------------|------|-----|-----|-----|------|-------|
| | | | | | 水 | 添加アルカリ NaCl | セメント | 細骨材 | | 粗骨材 | 混和剤 | |
| | | | | | | | | 普通 | ASR | | ① | ② |
| S1 | 一般骨材配合 | 63.0 | 4.5 | 48.4 | 170 | 0 | 270 | 881 | 0 | 945 | 1.76 | 0.014 |
| S2 | ASR骨材+NaCl配合 | 63.0 | 4.5 | 48.4 | 170 | 6.17 | 270 | 0 | 877 | 943 | 1.76 | 0.135 |

までは20kNで走行させ、その後は40kNまで荷重を増加させて約20万回(10万往復)まで走行させた。その間、外観損傷の他にたわみの経時変化を記録した。輪荷重の移動範囲は1.0mで、荷重を伝達する載荷ブロックは走行軸方向が80mmで直交する方向が200mmの道路橋示方書に示されている載荷面積の40%のものを使用した。たわみの計測位置は中央(C点)の他に、走行方向に中央から246mmの位置(W点, E点)でも載荷を実施している(図-1)。なお、水張り状態で試験を行うため床版上に長さ1.2m、幅1.0mに枠を設置して、その範囲内に湛水させるものとした。

2.2 小型モデル供試体

小型モデル供試体は図-2に示すもので、主鉄筋量を昭和39年道路橋示方書に準じた2方向版の配筋とし、厚さは100mmとした実物大床版のほぼ50%のモデルである。コンクリートには表-1の配合設計に示す通り反応性を有する細骨材を使用し、添加アルカリとしてNaClを混入している。供試体の製作から試験実施までの期間は約3.2年である。表-2は試験終了時に採取したコンクリートコア(径50mm)による圧縮強度試験による参考値であり、一般骨材を使用した供試体の平均強度が反応性骨材を使用したコンクリートの1.5倍となっている。ただし、一般骨材の試験結果で突出した値(49.5N/mm²)が記録されており、ヤング係数から見ても他の値の方が適当なものとなっているため、突出した値を無視すれば圧縮強度の平均は36.5N/mm²となり、反応性骨材を使用したコンクリートの1.35倍となる。ヤング係数は一般骨材によるものが平均29.2kN/mm²に対して反応性骨材によるものは10.5kN/mm²と小さくなっており、ASRによる微細ひび割れの影響と推察される。表には供試体製作時の28日強度も示しているが、反応性骨材を使用したものは試験終了時のヤング係数が約36%まで低下していることが分かる。

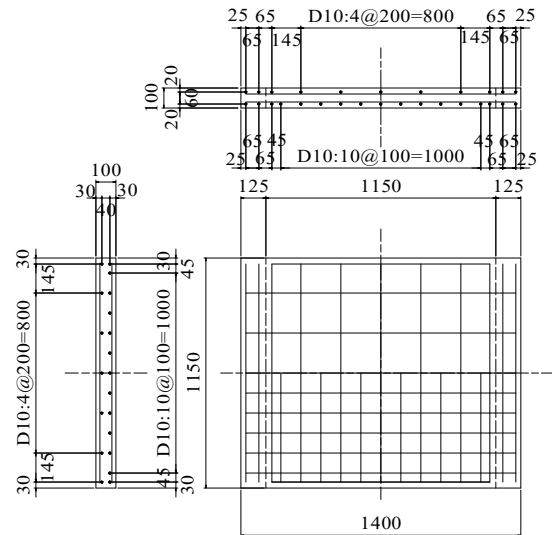


図-2 小型モデル供試体 (単位: mm)

表-2 コンクリートの物性値

| 供試体記号 | 種別 | 単位 | No.1 | No.2 | No.3 | 平均 | 供試体製作時 |
|-------|-------|--------------------|------|------|------|------|--------|
| S1 | 圧縮強度 | N/mm ² | 49.5 | 35.6 | 37.3 | 40.8 | 33.9 |
| | ヤング係数 | kN/mm ² | 32.6 | 25.4 | 29.6 | 29.2 | 30.6 |
| S2 | 圧縮強度 | N/mm ² | 27.4 | 27.8 | 26.2 | 27.1 | 28.9 |
| | ヤング係数 | kN/mm ² | 10.7 | 10.2 | 10.5 | 10.5 | 28.9 |

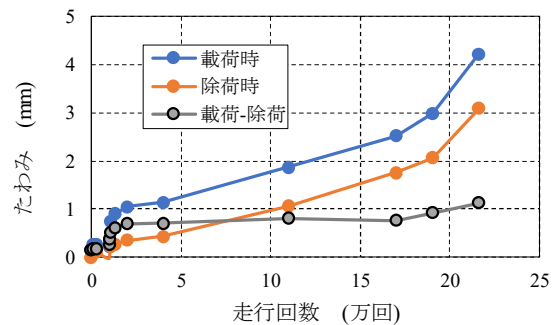


図-3 S1 供試体のたわみ経時変化 (一般骨材)

3. 輪荷重走行試験の結果

3.1 試験終了時の走行回数

輪荷重走行試験は、床版構造の終局状態である押し抜きせん断破壊に至る前に土砂化による上面の不陸が過大となりクランク式試験機の走行が困難となった時点で終了している。S1 供試体の終了時の走行回数は216,276回

でS2 供試体ではほぼ同等の206,808回であった。

3.2 たわみの経時変化

一般骨材である S1 供試体の輪荷重走行試験での中央(C点)でのたわみの経時変化を図-3に、反応性骨材である S2 供試体の同じ位置のものを図-4に示す。ここで、載荷時たわみとは、一定走行回数毎に静載荷した際

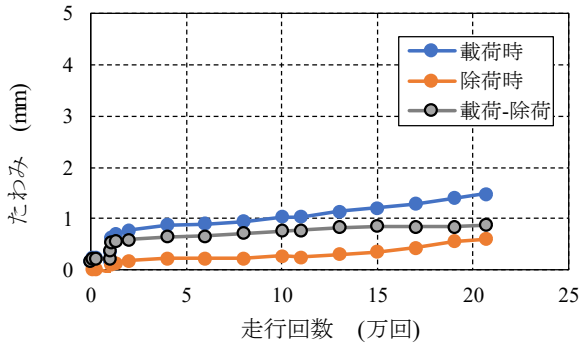


図-4 S2 供試体のたわみ経時変化 (反応性骨材)

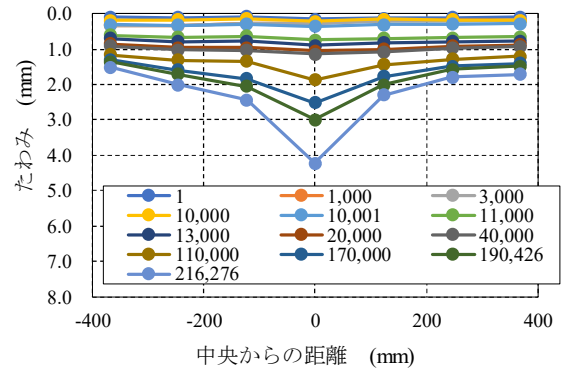
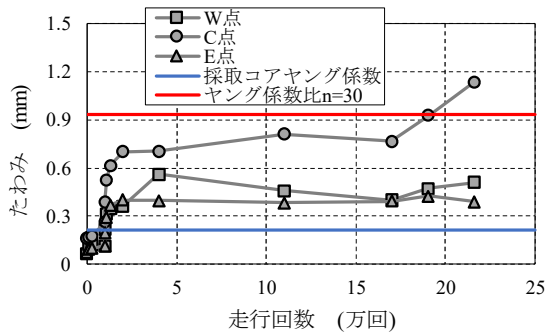
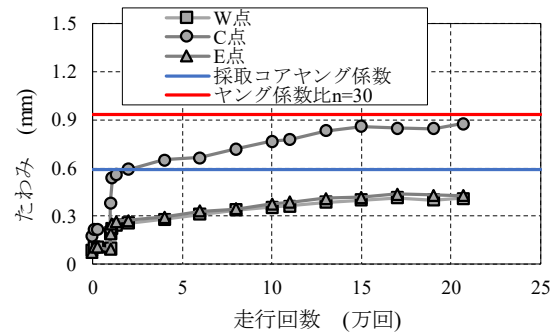


図-5 S1 供試体のたわみ分布 (橋軸方向)



(a) S1 供試体

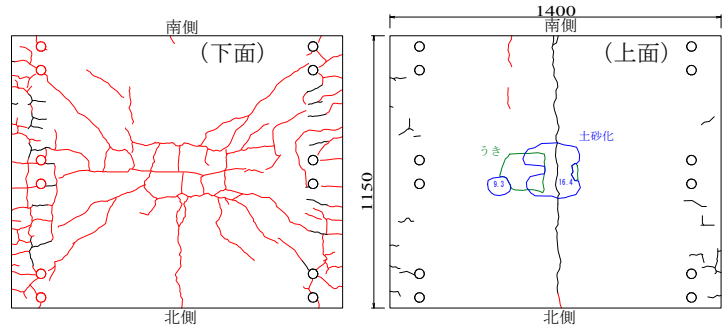


(b) S2 供試体

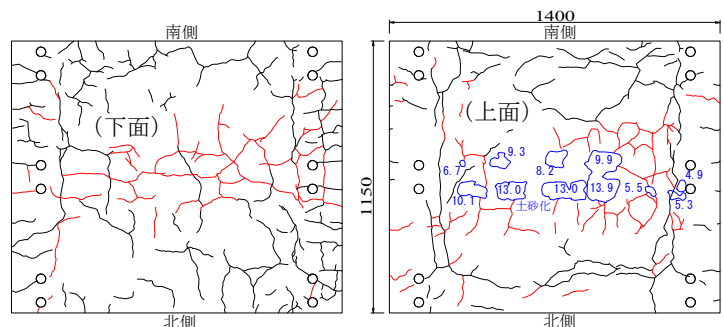
図-6 たわみの経時変化 (荷重時たわみ-除荷時たわみ)

に計測されたたわみ値であり、除荷時たわみとは除荷後に残留したたわみ値を表している。その差異化時たわみから除荷時たわみを減じた値が弾性成分、すなわち活荷重たわみとなる。S2 供試体と比較して荷重初期から S1 供試体の荷重時たわみ値が大きくなっているが、これは後述するように試験前から生じていた中央部分の貫通ひび割れの影響であると考えている。

図-5 に S1 供試体の走行回数毎の走行軸方向のたわみ分布を示すが、走行回数 11 万回程度から中央 (C 点) の値が急増しており、水張による影響で中央の貫通ひび割れ部分の損傷が進展していることが想定される。図-6(a), (b) は両供試体の C 点, W 点, E 点のそれぞれの地点で荷重した際の弾性成分のたわみの経時変化を示したものであるが、S1 供試体の C 点で 17 万回以降が増加傾向となるものの、弾性成分に着目する範囲では両供試体の傾向は類似している。図には、3 次元弾性論によりたわみ値を計算した結果³⁾を示しているが、S1 供試体では採取コアによるヤング係数から計算したたわみ値 (青線) が荷重初期のたわみに近似しており、損傷が進展した状態³⁾を想定したヤング係数比 $n=30$ の計算たわみを 19 万回程度で超過していることから、終局に近い可能性がある。S2 供試体では採取



(a) S1 供試体



(b) S2 供試体

図-7 試験終了時点のひび割れ状況

コアヤング係数でのたわみ計算値に達した後に増加傾向が緩やかとなり、試験終了時点で $n=30$ の計算たわみに達していない。

4. 試験後の供試体

試験終了時点の両供試体のひび割れ発生状況を図-7に示す。図では走行試験前に確認されたひび割れ(黒線)に対して、走行試験で発生したひび割れが分かるように赤線で示している。また、青線で囲まれた範囲が土砂化部分で緑線がタタキ点検でうきを確認された箇所である。

両供試体共に短辺側端部で走行試験前に確認されたひび割れが多いが、この位置は、試験機にセットするために無収縮モルタルで拡幅した部分(両側 125mm)であり、走行範囲外である。他の走行試験前のひび割れは反応性骨材を使用した S2 供試体に多く発生しており、ASR によるものと考えられる。S1 供試体に関しては走行試験前から中央付近の走行軸直角方向にひび割れが発生しており、走行試験早期に貫通ひび割れとなり、漏水が生じていた。なお、S2 供試体では走行終了時点まで漏水は発生していない。

走行面直下に生じた土砂化部分は、S1 供試体では貫通ひび割れ位置の中央付近に比較的大きなものが発生しており(写真-2)、離れた位置にも土砂化部分はあるものの、その間はずきで繋がっている状況であった。それに対し S2 供試体では、走行面直下の広い範囲で土砂化が分布している。これは、ASR によって生じた微細ひび割れが影響しているものと考えており、水の浸透による水圧作用が土砂化の要因となっていることが推察される。

5. まとめ

道路橋床版の疲労と ASR の複合劣化によるたわみの進展やその他の損傷の発生の有無を確認するものとして反応性細骨材と一般骨材を用いた小型モデル供試体による水張条件による輪荷重走行試験を実施した。以下に得られた知見を列挙する。

- 1) 輪荷重走行試験の結果、一般骨材、反応性骨材の両供試体共に、押し抜きせん断による終局に至らなかった。どちらの試験も、最終的に水張の影響で土砂化による上面の大きな不陸のため、輪荷重走行試験を終了した。
- 2) 一般骨材供試体では、初期に発生していたひび割れが貫通することで輪荷重走行試験による載荷時の中央たわみが反応性骨材を使用した S2 供試体よりも大き

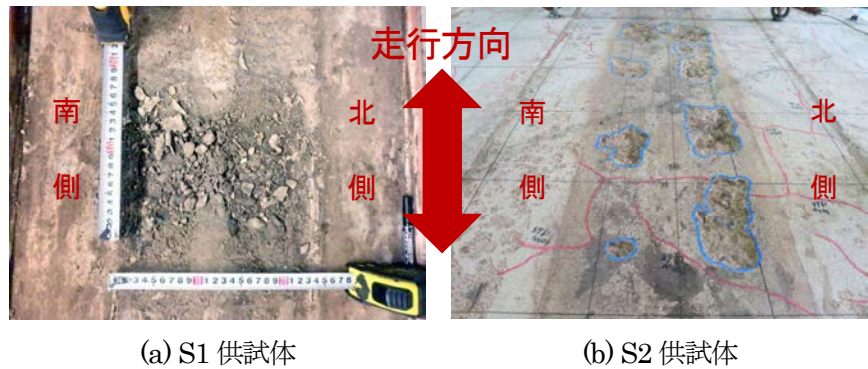


写真-2 S1 供試体の土砂化部分

- い値で推移した。弾性成分に着目すれば、両供試体ともに同様のたわみの推移することが明らかとなった。
- 3) 土砂化の範囲に着目すれば、一般骨材供試体では貫通ひび割れに進展した位置で発生し、反応性骨材供試体は走行面に広く分布していた。微細ひび割れも含めて水の浸透による水圧作用が土砂化の要因となっていることが推察された。

本研究により、道路橋床版に ASR が発生した場合に及ぼす影響として広範囲な土砂化の可能性が示唆されたため、反応性細骨材を使用した実物大床版による輪荷重走行試験を実施することとしている。さらに、ASR が、床版構造としての疲労耐久性に及ぼす影響も明らかにしたいと考えている。

謝辞

本研究は金沢大学が進める SIP (戦略的イノベーション創造プログラム) と北陸・道路メンテナンス会議に設置された道路橋の維持管理における各構成部材の限界状態ならびに AI 技術の活用に関する検討ワーキンググループに協力いただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 横山広ほか:凍結防止剤の影響を受けた構造物の実態調査, 平成 19 年度土木学会中部支部研究発表会概要集, pp.423-424, 2008.3.
- 2) 角間恒ほか:寒冷地において複合劣化を受けた道路橋 RC 床版の劣化状況調査, 平成 28 年度北海道支部論文報告集 73 号, A-37, 2016.2.
- 3) 横山広ほか:道路橋床版の曲率を用いた劣化度評価に関する研究, 構造工学論文集, Vol.64A, pp.551-559, 2018.3.

(2018 年 7 月 20 日受付)