

乾燥収縮がプレストレストコンクリート橋に与える影響と 拡散理論に基づく収縮ひずみの予測手法に関する研究

大阪支部 土木技術部 小林仁

1. はじめに

近畿地方では近年、垂井高架橋や第二阪和国道といった PC 上部工に乾燥収縮（および自己収縮）を主原因とするひび割れ等の変状が生じ問題となった。国土交通省近畿地方整備局では再発防止策として、PC 橋に使用するコンクリートの乾燥収縮ひずみを JIS 試験 (JIS A 1129) の 26 週試験値で 8×10^{-4} 以下にするという事務連絡を 2010 年に通達した。これにより、各地の生コン工場で粗骨材を石灰石碎石に変更する動きが盛んとなり、近畿地方において乾燥収縮問題は沈静化した。

このようにコンクリートの乾燥収縮は、使用する粗骨材の選別や混和材料の添加によりコントロールすることが可能であるが、乾燥収縮自体はコンクリートに生じる自然現象であり、予想される収縮ひずみに応じて性能照査を行うことが望ましい。このため、PC 橋を対象に乾燥収縮に対する設計的な対応方法の確立を目指し、実橋や実物大供試体に生じる乾燥収縮ひずみの測定や、拡散理論に基づく新しい予測式の構築、および水分移動解析による乾燥収縮を原因とする損傷の再現などに取り組んだ。本稿では、京都大学大学院宮川豊章教授のご指導のもと取りまとめた博士学位論文の概要について報告する。

2. 論文の構成

論文の構成を図-1 に示す。本稿では、このうち 4 章から 6 章の内容について紹介する。

3. 実物大供試体による計測 (4 章)

2011 年に当社が施工した PC 方杖ラーメン箱桁橋と、同橋をモデルに製作した実物大供試体 7 体の乾燥収縮ひずみを計測した。供試体は、実橋の断面を再現した箱桁タイプ (図-2) 2 体と、ウェブ部分をモデル化した角柱タイプ 5 体とした。

供試体には、粗骨材を垂井高架橋や第二阪和国道の橋梁と同じ産地の硬質砂岩碎石とした乾燥収縮ひずみが大きいコンクリート (配合 NO.1) と、粗骨材を石灰石碎石とした乾燥収縮ひずみが標準的なコンクリート (配合 NO.2) の 2 種類を使用した。それぞれのコンクリートの乾燥収縮ひずみは、JIS 長さ変化試験の 26 週試験値で、配合 NO.1 が 923×10^{-6} 、配合 NO.2 が 539×10^{-6} であった。なお、実橋のコンクリートは配合 NO.2 である。各供試体で、注目する収縮方向の鉄筋比や混和材料添加の有無を試験要因とした。

実橋、供試体ともに、2010 年 11 月から 12 月にかけて打設を行い、ひずみ計等の計測機器やコンタクトゲージにより収縮ひずみを継続的に測定した。現在、配合 NO.1 による供試

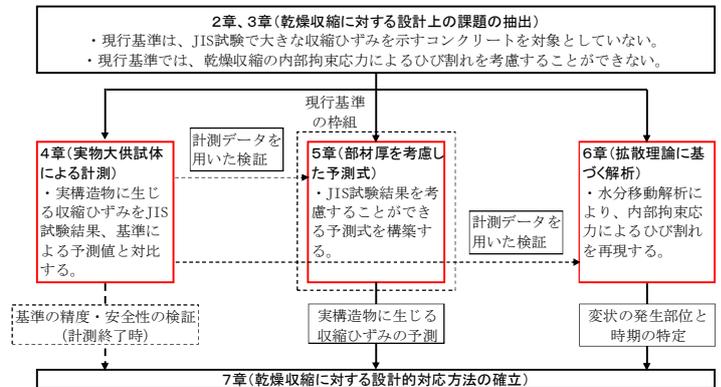


図-1 論文の構成

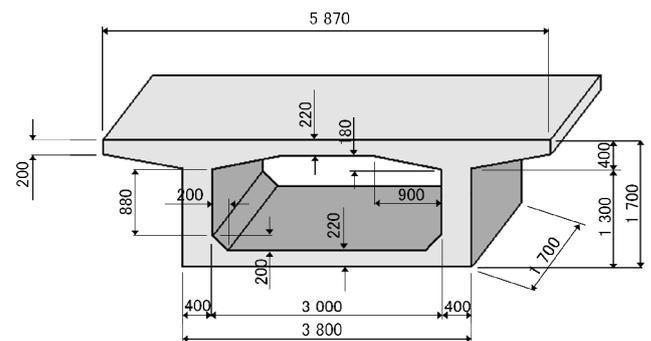


図-2 箱桁タイプの供試体

体には表面に多くのひび割れが生じており、ひび割れの一部は鉄筋を越え部材深部に達している。一方、配合 NO.2 による供試体にもひび割れが生じているが、配合 NO.1 によるものと比べ軽微である。実橋にはひび割れ発生の報告はない。

代表的な計測結果として、箱桁タイプにおけるウェブ中央の橋軸方向ひずみを図-3 に示す。粗骨材による差は JIS 試験ほど顕著でなく、乾燥期間 3 年における収縮ひずみは配合 NO.1 の供試体が 220×10^{-6} 、配合 NO.2 の供試体が 250×10^{-6} 程度となっている。配合 NO.1 による供試体は、ひび割れによって表面部の大きな収縮ひずみが解放され、全体の収縮ひずみが低下した可能性がある。

図には各基準による予測値も記載しており、このうち 2012 年制定コンクリート標準示方書は[設計編：標準]に記載の式 (解 2.2.2) によっている。式中の有効部材厚 d は、実際の部材厚である 400mm とした場合と、体積表面積比 V/S の 4 倍とした場合の 2 ケースとした。実測された収縮ひずみは、道路橋示方書による予測値とコンクリート標準示方書による予測値の中間程度である。道路橋示方書は、クリープによる応力緩和の影響を考慮して小さめの収縮ひずみを予測している

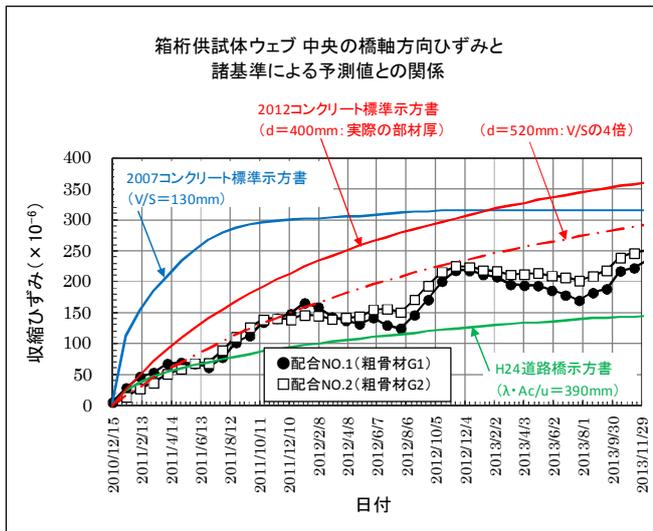


図-3 埋込みずみ計による3年間の計測結果

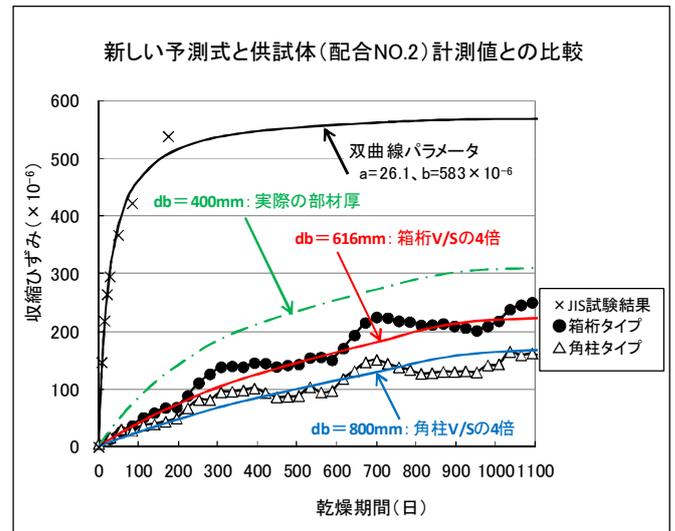


図-4 式(1)による予測式と計測結果の比較 (配合 NO.2)

ことを考えると、実測された収縮ひずみは現在のところ、各基準の予測値を大きく逸脱しない範囲にあると言える。

4. 部材厚を考慮した予測式 (5章)

乾燥収縮ひずみの経時変化は双曲線関数に従うこと、また、その進行度は拡散理論に基づき部材厚さの二乗に比例して遅くなること、という2つの事実を、同一地域にある複数の生コン工場から購入したコンクリートを用いて製作した多くの供試体による長さ変化試験の結果から明らかとした。これより、以下に示す新しい収縮ひずみの予測式を構築した。

$$\varepsilon_{sh}(t) = \frac{1 - RH/100}{\left(\frac{d_b}{100}\right)^2 \cdot a + t} \cdot b \cdot t \quad \dots (1)$$

ここに、

$\varepsilon_{sh}(t)$: 乾燥期間 t (日) における乾燥収縮ひずみ

a : 乾燥収縮ひずみの経時変化を示す項

b : 乾燥収縮ひずみの最終値

d_b : 部材を代表する厚さ(mm)

RH : 相対湿度 (%)

式(1)は、2012年制定コンクリート標準示方書の(解 2.2.2)の元になったものである。式(1)によると、JIS 長さ変化試験の結果を反映した未定係数 a , b を使用するため、粗骨材等の使用材料に起因する収縮性状をある程度、考慮することができる。図-4 は、ひび割れの影響が軽微な配合 NO.2 による供試体の実測ひずみとの対比であるが、 d_b を体積表面積の4倍としたケースでは、実測値と比較的良く一致している。

5. 拡散理論に基づく解析 (6章)

乾燥収縮の進行度は部材の表面と内部で異なるため、内外のひずみ差に起因する内部拘束応力によりひび割れが生じる場合がある。図-5 に示すひび割れは、乾燥収縮により新旧コ

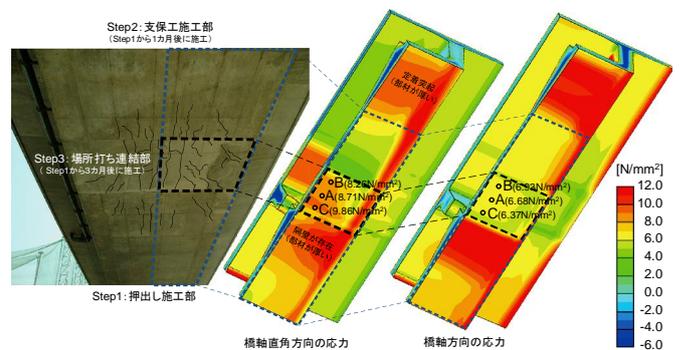


図-5 実際の損傷状況と水分移動解析結果

ンクリートの打継部に生じたものであるが、明確な方向性を有しておらず外部拘束だけでは説明できない。ここで、コンクリート中の水分移動が拡散理論に基づく仮定し解析を行うと、損傷が生じた部位はマッシュなため、橋軸・直角の2方向に高い引張応力が生じ、応力が最大となる時期も実際にひび割れが確認された時期(橋体完成から4年後)と概ね一致することが分かった。

6. おわりに

以上の取組みを整理し、7章で乾燥収縮に対する設計の対応フローを構築した。天然資源であるコンクリート用骨材が、現在の品質を維持できる保証はなく、将来、さらに大きな乾燥収縮ひずみと向き合う必要に迫られる可能性もあり、本研究の成果が今後の研究に活用されることを期待する。

Key Words: 乾燥収縮, PC 橋, 実物大供試体, 拡散理論, 予測式, 水分移動解析



小林仁