

ひび割れにより剛性低下した PRC 桁試験体の外ケーブル補強の効果

東日本旅客鉄道株式会社 正 会 員 ○杉田 清隆
東日本旅客鉄道株式会社 正 会 員 千頭 啓司
東日本旅客鉄道株式会社 フェロー 築嶋 大輔

1. はじめに

新幹線高架橋において、特定の速度域の新幹線走行に伴い、共振傾向を示す PRC 桁が報告されている。共振現象は、新幹線走行時の輪重による加振振動数と桁の固有振動数が接近することで発生しており、著者らは、新幹線走行時のひび割れによる桁の剛性低下が固有振動数を低下させ、新幹線の通過時に共振現象を発生させるメカニズムと考えている。これまで、この共振現象に対しては、新幹線の速度制限や変位のモニタリングにより維持管理しながら、恒久的なハード対策として桁下に新たな支点を追加する対策を実施してきている。しかしながら、桁下空間に河川や道路等による制約を受ける場合には、この対策を採用することができない。そこで、桁下空間に制約を受ける場合の補強案の 1 つである外ケーブルによる補強について、今回、ひび割れにより剛性低下した PRC 桁を模擬した試験体を製作し、繰り返し載荷実験による外ケーブル補強の効果を検証したため報告する。

2. 繰り返し載荷実験概要

今回、外ケーブル補強による効果を確認するため、PRC 桁を模擬した試験体を製作し、異なる荷重レベルによる繰り返し載荷を実施後（ひび割れによる剛性低下を発生させた後）、外ケーブル補強を実施した上で、再度繰り返し載荷を実施している。試験体の諸元および形状寸法を表－1 および図－1 に示す。試験体は、ポストテンション方式の T 形断面とし、諸元および内ケーブルの導入緊張力は、載荷装置の載荷能力（最大容量 500kN）と載荷スペースに加え、外ケーブル補強を前提とした条件で決定した。なお、内ケーブルの導入緊張力は、2 パターン（低緊張：73.45kN、高緊張：260kN）とした。ひび割れによる剛性低下を模擬するため、外ケーブル補強前の試験体（以下、無補強試験体）は、荷重レベルが異なる繰り返し載荷実験を実施し、ひび割れ状況を変化させた。なお、荷重レベルの設定については、PRC 桁が新幹線走行時にひび割れを許容する設計であることから、鉄道構造物設計標準（コンクリート構造物）の計算手法を参考に、小さい載荷荷重（低緊張：86kN、高緊張：130kN）においては、桁下面の下縁応力が曲げひび割れ強度程度の荷重、基準とした載荷荷重 200kN においては、耐久性を考慮したひび割れの制限値 0.2mm 程度のひび割れが発生する荷重、載荷荷重 286kN においては、実橋の現地計測の結果から、複線同時載荷を想定し、単線載荷荷重（基準載荷荷重 200kN）を 10/7 倍した荷重として設定した。

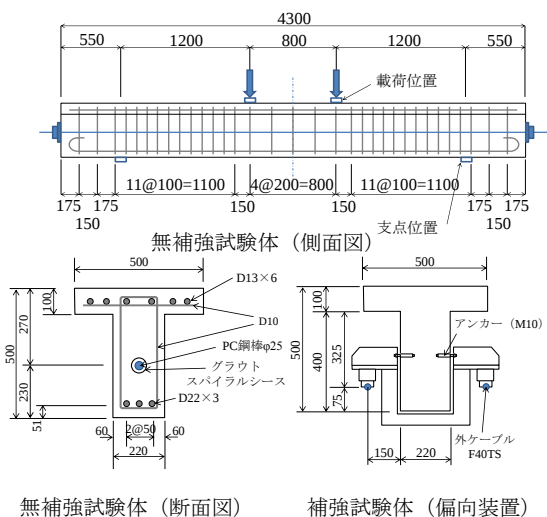
外ケーブルによる補強を実施した試験体（以下、補強試験体）の外ケーブルの導入緊張力は、繰り返し載荷実験の載荷荷重 200kN において、桁下面にひび割れが発生しないように下縁の応力度が曲げひび割れ強度程度となるようにそれぞれ設定（低緊張：155kN、高緊張：110kN）した。補強試験体の実験変数は、補強前のひび割れ状況、導入

表－1 試験体諸元

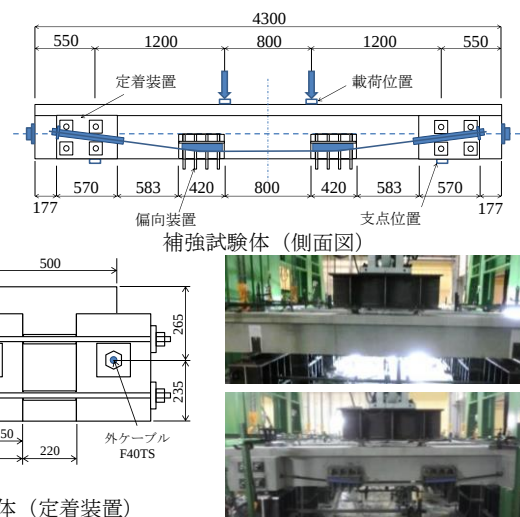
試験体 No.	梁断面寸法 (mm)	引張鉄筋		圧縮鉄筋		せん断補強鉄筋		PC鋼棒（内ケーブル）			外ケーブル			繰返し載荷パターン	繰返し回数
		鋼材種類	径×本数	鋼材種類	径×本数	鋼材種類	径@ピッチ	鋼材種類	径×本数	緊張力 (kN)	鋼材種類	径×本数	緊張力 (kN)		
TL-1	ウェブ (220×400) + フランジ (100×500)	SD345	D22×3本	SD345	D13×6本	SD345	D10@100	SBPDN 930/1080	φ 25×1本	73.45	—	—	—	200kNを繰返し	400万回
TL-2											—	—	—	86kNを繰返し	400万回
TLR-1											SWPR19L (F40TS)	φ17.8×2本	155	200kNを繰返し	400万回
TLR-2														1サイクル＝200kN×10000回 + 286kN×25回を繰返し	400サイクル
TLR-1'														200kNを繰返し	400万回
TLR-2'														130kNを繰返し	400万回
TH-1										260	—	—	—	286kNを繰返し	400万回
TH-2											SWPR19L (F40TS)	φ17.8×2本	110	200kNを繰返し	400万回
TH-3														1サイクル＝200kN×10000回 + 286kN×25回を繰返し	400サイクル
THR-1														200kNを繰返し	400万回
THR-2														200kNを繰返し	400万回
THR-1'														200kNを繰返し	400万回
THR-2'														200kNを繰返し	400万回

キーワード PRC 桁、共振現象、ひび割れ、剛性低下、外ケーブル補強、繰返し載荷実験

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木 2-2-6 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター 03-6276-1251



図一 試験体の形状寸法 (概要図)



図二 荷重状況 (上: 無補強, 下: 補強)

緊張力、荷重荷重を実験変数とし、補強による剛性低下の回復状況について確認した。荷重方法は、固定・可動を有する2点で単純支持し、集中荷重2点を鉛直アクチュエータにより、荷重速度5Hzのsin波を荷重制御で動的に繰り返し荷重した(図-2)。繰り返し回数が所定回数に到達した毎(1, 10, 1万, 10万, 30万, 50万, 100万, 200万, 300万, 400万回毎)に静的荷重を実施した。

3. 繰り返し荷重実験結果

無補強試験体の結果の一例としてTH-1試験体の荷重-変位関係を図-3に示す。荷重-変位関係は、概ね100万回までは、徐々に剛性低下していることが確認できるが、100万回以降は、繰返しにより残留変位が進むものの、剛性低下が小さいことが確認できる。ひび割れの進展状況も同様の傾向で、概ね100万回まではひび割れの進展が確認できるが、100万回以降は、ひび割れが収束する傾向であった。TL-1試験体の傾向も、概ね同様であったが、荷重レベルの小さい試験体(TL-2, TH-2)では、荷重が小さいため、顕著な剛性低下はなく、残留変位だけが進んでいく状況であった。

補強試験体の結果の一例として、TLR-1, TLR-2試験体の荷重-変位関係を図-4, 図-5に示す。荷重-変位関係は、補強前のひび割れの発生状況に関係なく、無補強時の初期剛性まで回復することが確認でき、繰返し荷重による顕著な剛性低下はなく、残留変位も少ないことが確認できる。図中に繰返し回数400万回後のひび割れ状況(無補強試験体の荷重時のひび割れ: 赤線, 補強試験体の荷重時の新たなひび割れ: 青線)を併記するが、新たなひび割れ(青線)が少ないことから、既存ひび割れの開閉によりたわみに追従していると考えられる。内・外ケーブルの導入緊張力が異なる試験体(THR-1, THR-2)でも、同様な結果となっており、桁下縁の応力度を制限することで、剛性回復することが確認できた。

4. おわりに

外ケーブル補強は、補強前のひび割れ状況によらず、桁下縁の応力度を制限することで、ひび割れ発生前の剛性に戻すことが可能であり、繰返し荷重による影響が少ないことが確認できた。つまり、外ケーブル補強は、桁の固有振動を向上させるための剛性付加は困難であるが、ひび割れの発生を抑制することが可能であるため、予防保全を含めたひび割れ発生による剛性低下のハード対策として効果的な補強であることが確認できた。

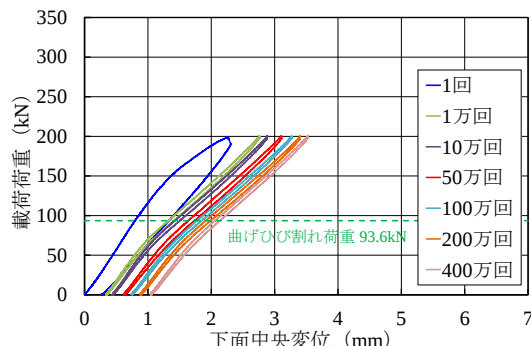


図-3 荷重-変位関係 (TH-1)

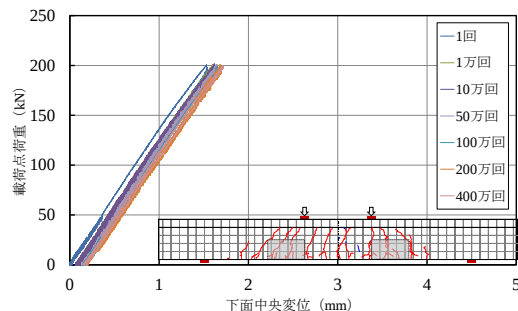


図-4 荷重-変位関係 (TLR-1)

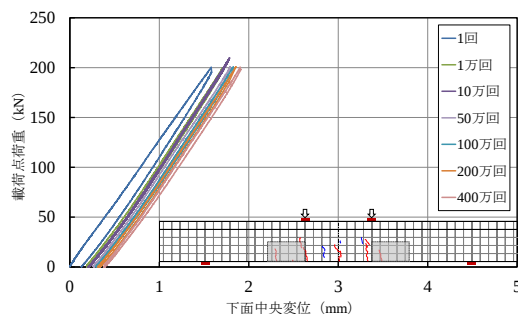


図-5 荷重-変位関係 (TLR-2)