

PC道路橋のプレストレス評価に関する研究

国土技術政策総合研究所 正会員 工修 ○春田 健作
 国土技術政策総合研究所 工修 玉越 隆史
 国土技術政策総合研究所 高橋 晃浩
 国土技術政策総合研究所 川間 重一

1. はじめに

PC道路橋の健全性を評価する上でプレストレスの状態が適正であるかどうかの情報は極めて重要である。しかし、現在のところ構造物完成後のプレストレス状態の確認は技術的に困難とされ、主に施工品質管理に依存して健全性を保証しているのが実状である。また、高齢化構造物の増加や将来の不測の損傷に対しても事後にプレストレス状態を評価できる技術の確立は急務であり、ここでは、非破壊検査技術(弾性波法)を用いて実大PC道路橋への適用性および模型供試体実験について報告する。

2. 実験概要

2.1 実大桁実験

(1) 対象PC桁： 実験には、ポストテンション方式T桁橋〔桁長45m, 支間長43.8m, 桁高2.5m, 設計基準強度40N/mm², 材齢約1年(図-2)]を用いた。

(2) 非破壊検査技術の検討

部材表面に近い領域の衝撃弾性波、超音波の伝搬速度に着目し検討を行った。

① 衝撃弾性波

鋼球打撃(φ9.6mm)入力波を一定間隔(300mm)の2箇所を受信し、到達時間差から伝搬速度を計測(図-1, 写真-1)した。計測は応力状態の差を評価するため水平方向の伝搬速度とし、ウェブ高さ方向に測線を変えて行いそれらの比較を行った。

② 超音波

超音波探子(印加電圧400V, 共振周波数40kHz)からの入力波をそれを取り巻くような位置関係で受信子(AEセンサ, 共振周波数140kHz)を配置し、表面伝搬速度を計測した。図-2に各計測位置および超音波表面伝搬計測の概要図を示す。

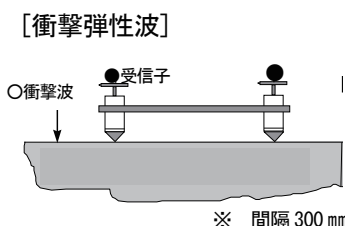


図-1 2点間計測概要図

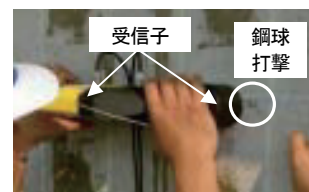


写真-1 ①計測状況

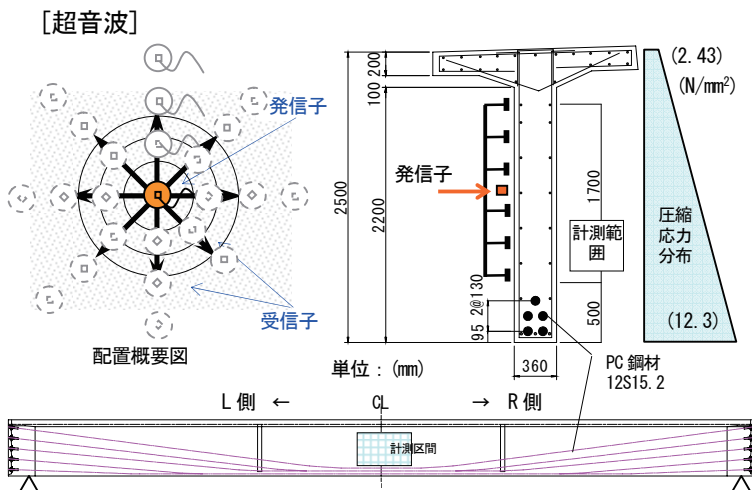


図-2 超音波表面伝搬計測概要図

2.2 プレストレス量の減少が変状に与える影響評価

検知すべきプレストレスレベルを設定するため、採用実績の多い構造形式の各数ケース〔ポストテンション方式T桁橋L(支間長):20~45m/場所打床版L:20, 30m/箱桁橋L:40m〕の残存プレストレス量に着目した試算を実施し、活荷重時、死荷重時のコンクリート応力およびひび割れの程度の関係について検討¹⁾した。

2. 3 供試体実験

(1) 要素実験 (角柱供試体)

要素実験 (図-3) として, 150×150×530mm の角柱供試体 [配合条件 50-12-20H(早強コンクリート), 試験時圧縮強度 62.1 N/mm²] を用いて, 長辺方向へ載荷状態 (圧縮応力下) で超音波 (印加電圧 400V, 共振周波数 40kHz, 探子間距離 200mm, 400 mm) を伝搬させた. コンクリート応力 0~15N/mm² の載荷-除荷を 1 サイクルとし 3 回計測を行った. 1 サイクルの計測は, 超音波探子をコンクリート表面に固定して行い, 接触状態および計測位置のズレによる結果への影響を排除した. また, 供試体の弾性変形量をひずみゲージにより計測し, 伝搬速度を算出する際に探子間距離の補正を行った.

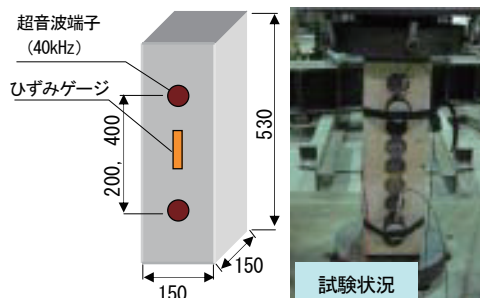


図-3 角柱供試体概要図

(2) 梁供試体模型実験

ポストテンション方式 T 桁橋のウェブ部材を模擬した梁供試体 (図-4) [配合条件 40-12-20H, 試験時コンクリート: 圧縮強度 48.4N/mm², 弾性係数 30.1N/mm², 引張強度 4.0N/mm²] の PC 鋼材の緊張・解放を繰り返すことにより表-1 に示す段階毎にプレストレス導入レベルを調整した. 前述の要素試験同様に発信子 (印加電圧 400V, 共振周波数 40kHz), 受信子 (AE センサ: 共振周波数 140kHz) は固定した状態で計測を実施し, 探子間距離は水平方向に 250mm および 450mm とした.

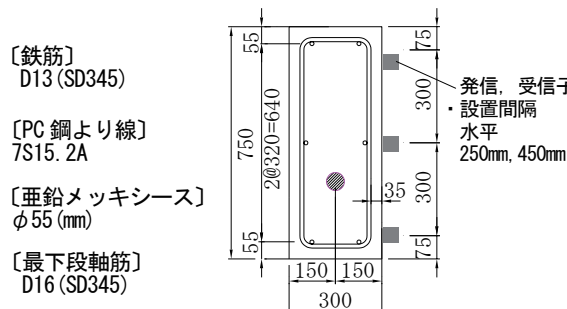


図-4 供試体断面概要図

表-1 梁供試体実験検討ケース

プレストレスレベル	プレストレス導入量 (kN)	コンクリートひずみ実測値 (μ) ※1		換算応力度 (N/mm ²) ※2	
		上縁	下縁	上縁	下縁
0%	0	0	0	-1.20	1.21
50%	583	5	-157	-1.05	-3.53
70%	816	6	-205	-1.01	-4.98
100%	1165	8	-301	-0.97	-7.85

※1: コンクリート表面に貼付したひずみゲージの実測値
 ※2: ひずみゲージの実測値より算出したコンクリート応力度

3. 結果および考察

3. 1 実大桁実験

① 衝撃弾性波

高さ位置の応力状態と水平方向伝搬速度の計測結果の関係を図-5 に示す. 桁高さ方向に伝搬速度に異なる傾向がみられ内部応力と弾性波の伝搬特性が相関する可能性があると考えられる. 超音波伝搬速度は, 施工方法, コンクリート強度などに起因して上下方向に変化している可能性があるため, コア供試体 (φ 80mm, 桁下縁から 500mm, 1700 mm の高さ位置) の物性試験 (表-2) を実施したが, 本実験において大きな差はなかった.

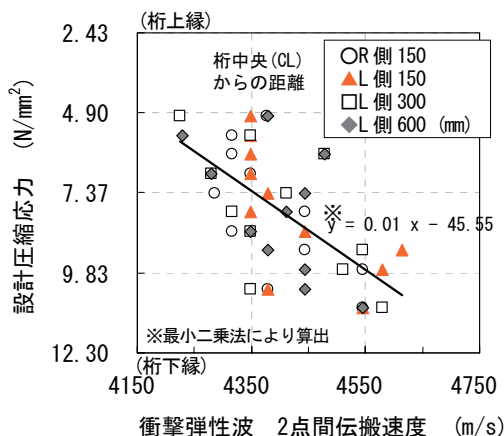


図-5 衝撃弾性波 表面伝搬速度

② 超音波

入力点と各受信間の伝搬速度を図-6 に示す. 既往の研究では, 弾性波の表面伝搬速度を計測すると波動減衰の影響により, 算出される見かけの伝搬速度が小さくなること²⁾が報告されており, 本実験においても伝搬距離に

表-2 採取コア試験結果

採取コア (2箇所採取平均)	桁下縁からの高さ (mm)		比率 ①/②
	① (1700)	② (500)	
圧縮強度 (N/mm ²)	54.0	62.2	0.87
弾性係数 (N/mm ²)	27200	25700	1.06
コア超音波伝搬速度 (m/s)	4265	4285	0.995

応じて速度が小さく算出される傾向が見られる。一方、部材の応力状態の相違に対応する桁高さ毎に整理した伝搬速度(図-7)では、同距離の伝搬にもかかわらず応力状態の異なる桁上方向領域と下方向領域での伝搬に速度

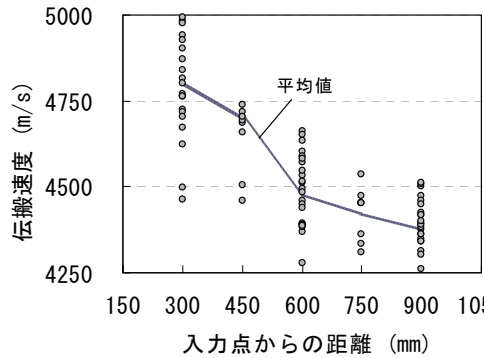


図-6 入力点と各受信間の伝搬速度

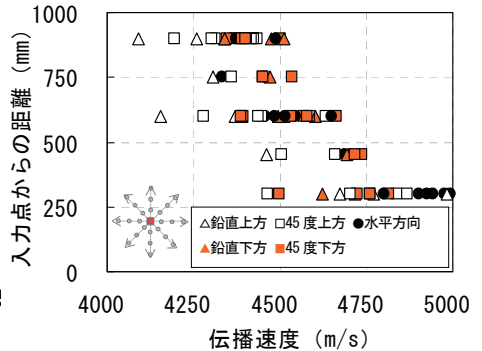


図-7 桁高さ方向毎の伝搬速度

差がある傾向が伺える。この特性により、コンクリートの内部応力状態を表面伝搬速度との関係から評価できる可能性があると考えられる。

3. 2 プレストレスの影響評価

プレストレス導入量とPC橋の変状の目安を示した結果を図-8に示す。PC橋の構造形式が異なってもプレストレス低下率の傾向として変状を検知すべきレベルに大きな差がなく、例えば、ポストテンションT桁橋で35%程度プレストレスが低下すると、自動車荷重により有害なひび割れが発生し、長期的な耐力の低下につながる危険性が高くなること解る。維持管理の実務においては、①監視の継続、②詳細調査の実施、③補修の実施など対応の選択肢を考えると、所定のプレストレス導入量の30%程度(±10%)の変化だけが判別できればよいことがいえる。

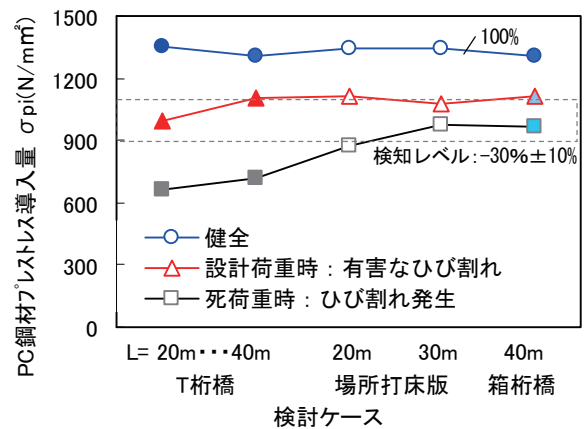


図-8 プレストレス導入量とPC桁の変状

3. 3 供試体実験結果

(1) 要素実験 (角柱供試体)

要素実験で採取される受信波形(図-9)の到達時間に着目して各応力段階の波形を比較した結果を図-10に示す。

圧縮応力が増加するに伴い、波の到達までの時間が短くなり、荷重除荷に伴い波形が概ね初期の形状に復元することが解る。コンクリートの弾性変形に伴うセンサ間距離が小さくなる影響が含まれているため、ひずみ量から探子間距離を補正し、補正距離と伝搬時間によって伝搬速度を算

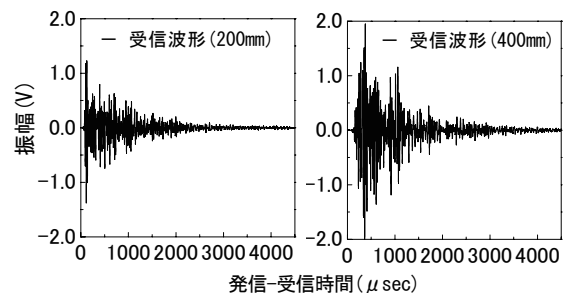


図-9 受信波形 (センサ間 200, 400 mm)

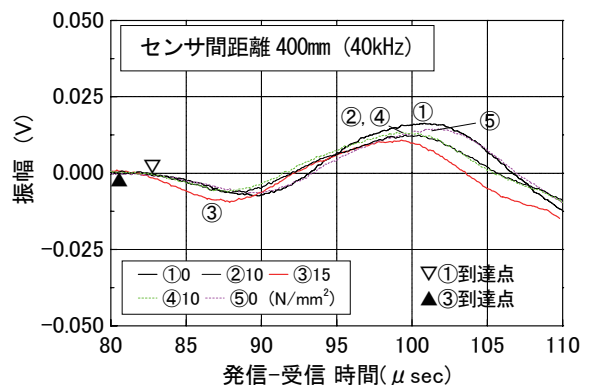
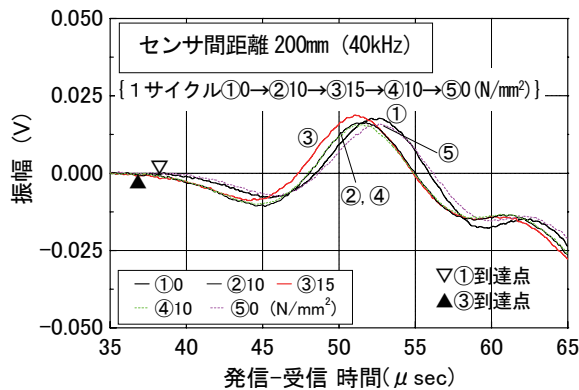


図-10 受信波形 拡大 (センサ間距離 200, 400 mm)

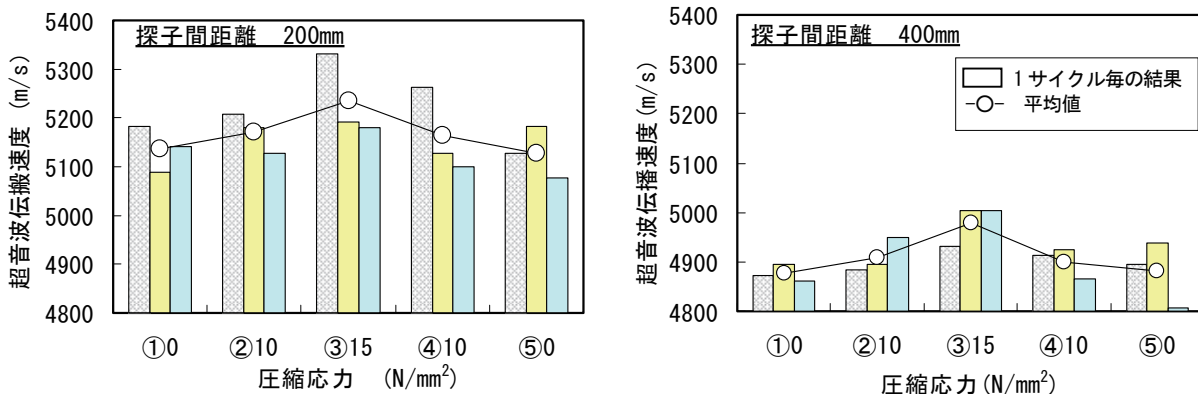


図-11 超音波伝搬速度と圧縮応力の関係

出した(図-11). その結果, 圧縮応力の増加につれて伝搬速度が速くなる傾向が確認できた.

(2) 梁供試体の実験結果

図-12にPC鋼材緊張によるコンクリートの応力変化を示している. 図-13に受信波形(到達点拡大)を示し, 超音波伝搬速度とコンクリート応力の関係を図-14に示す. 探子間 250 mmの結果では, 計測位置①, ②, ③の相違

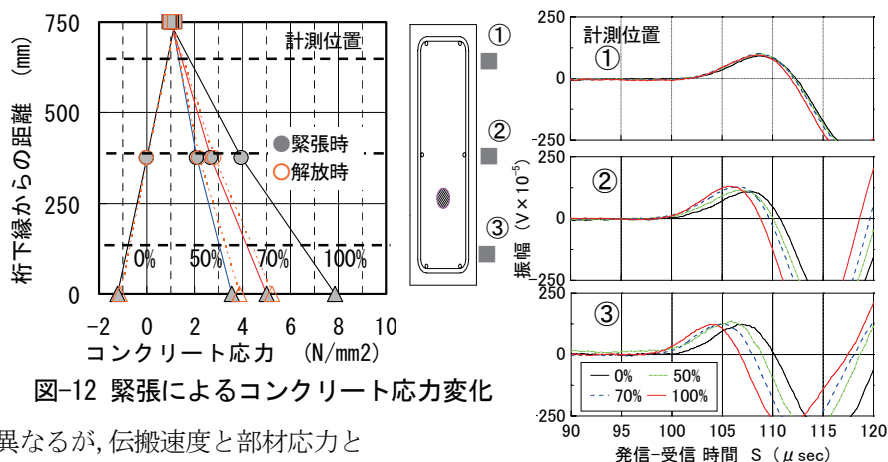


図-12 緊張によるコンクリート応力変化

図-13 緊張時の受信波形変化

によって伝搬速度の領域が異なるが, 伝搬速度と部材応力と相関関係にあることが解る. 計測位置毎の伝搬速度領域の相違は, コンクリートの性状に起因すると考えられるため, 応力状態が 0N/mm²の速度を基点とし重ね合わせることで, 計測点間の影響を排除し(図-14 上グラフ ↓)評価した. このことから, 一定の計測方法で表面伝搬速度を採取することで, コンクリート部材の内部応力を評価することができる可能性があると考えられる.

4. まとめ

コンクリートを伝搬した弾性波の伝搬特性が, プレストレスによる内部応力状態と相関することが確認できた. 本研究は, (社)プレストレスト建設業協会との共同研究の一環で実施しており, 今後は, 詳細な分析を行い品質管理手法, 維持管理段階での健全度評価手法としての活用を図るべく研究していく.

〔参考文献〕 1) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], pp100~102, 2002

2) 鬼塚, 應, 浅野ら: コンクリート部材における衝撃により入力された弾性波の伝搬速度計測に及ぼす影響因子の検討 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集 pp. 789-790

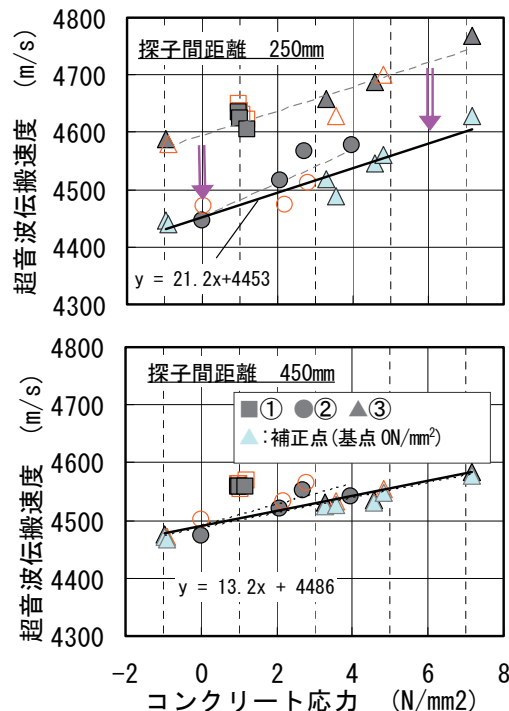


図-14 コンクリート応力と表面伝搬速度 (計測間隔 250mm, 450 mm)