

プレストレス量の評価手法に関する研究

プレストレストコンクリート建設業協会 正会員 ○妹川 寿秀
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 工 修 玉越 隆史
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 高橋 晃浩
 国土交通省 国土技術政策総合研究所 川間 重一

1. はじめに

現在、国土交通省国土技術政策総合研究所と(社)プレストレストコンクリート建設業協会では、「PC橋の健全度評価手法の高度化」に関する共同研究を実施している。

本共同研究では、供用後のPC構造物の性能保証を行うための検査手法の確立を目的としている。最近では供用後のPC構造物の検査手法として、超音波法やコア法など様々な非(微)破壊検査技術が開発されている。しかし、プレストレスの状態を検査する技術に関しては、微破壊を伴う検査や実橋載荷試験などが行われているが、簡易に実施できないなど、その検査技術の開発は遅れている。

本稿では、共同研究の一環として、PC構造物におけるプレストレスの導入量の低下が部材挙動に及ぼす影響を確認するために行ったPC梁試験体を用いた載荷実験について報告する。

2. 実験概要

実験は、プレストレス導入量をパラメータとし、所要のプレストレスが導入されている試験体に対して、プレストレス導入量を低下させた試験体の破壊時までに生じる変動現象(変位、ひび割れ発生荷重・状況、耐荷機構、耐力、破壊モード等)を比較することにより評価、考察を行うこととした。

2.1 試験体形状

試験体は、図-1に示す形状とし、プレストレス導入量は、プレストレス導入直後において上縁側コンクリートの引張応力が許容値以下となるように決定し、これを100%として、プレストレス導入量を50%、10%に変化した3体を製作した。なお、10%の緊張力は、試験体製作時の定着具および鋼材のたるみなど鋼材配置形状を保持することを目的として導入した。

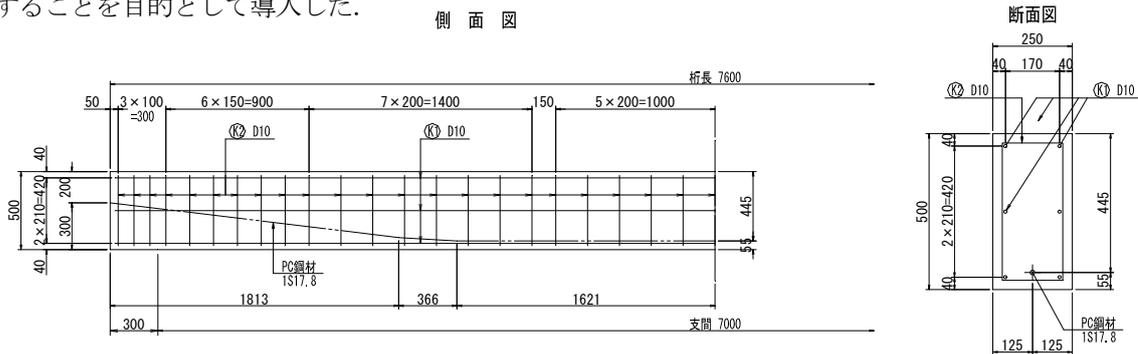


図-1 試験体構造図



写真-1 載荷試験方法



写真-2 載荷試験状況

2.2 荷重方法

荷重は、間隔 1500mm の 2 点荷重とし (写真-1)、荷重は、終局時のひび割れ状態を確認するため、ひび割れ発生時点で一旦除荷し、パイゲージを設置後、再度終局荷重までの荷重を行った (写真-2)。

2.3 計測項目

実験に際しては、プレストレスが低下して死荷重作用時にひび割れが発生した場合を前提として、プレストレスが 100%導入された状態との相違や発生しうる事象の検討を行い、表-1 に示す計測項目と計測方法を決定した。

表-1 計測項目・方法・目的

No.	計測項目	計測方法	目的
1	コンクリートひずみ (上面)	ひずみゲージ	平面保持, 有効断面の確認, 破壊の確認
2	コンクリートひずみ (下面)	ひずみゲージ	平面保持, 有効断面の確認
3	軸方向鉄筋ひずみ	ひずみゲージ	軸方向鉄筋のひずみの変化
4	P C 鋼材ひずみ	ひずみゲージ	P C 鋼材のひずみの変化 (降伏の有無)
5	ひび割れ幅	パイゲージ, 目視	ひび割れの発生確認
6	曲げ破壊性状	目視	破壊性状の確認
7	スターラップひずみ	ひずみゲージ	せん断力, せん断破壊の確認
8	コンクリートひずみ (側面)	ひずみゲージ	せん断力, せん断破壊の確認
9	せん断破壊性状	目視	破壊性状の確認
10	最大荷重	ロードセル (荷重装置)	ひび割れ発生荷重, 終局荷重の確認
11	たわみ	変位計	たわみの変化

3. 実験結果

3.1 断面ひずみ分布

プレストレス導入量 10%の試験体では、荷重荷重 15kN 時、50%では、荷重荷重 37.5kN 時、100%では、荷重荷重 60kN 時にそれぞれひび割れが発生した。また、事前に計算で求めたひび割れ発生荷重は、プレストレス導入量 10%、50%、100%の試験体でそれぞれ 11.4kN、30.2kN、53.6kN であった。プレストレス導入量が低下すると、設計活荷重相当時 (導入量 100%のひび割れ発生荷重) 以内にひび割れが発生し、ひずみの直線性が失われる結果となった (図-2)。

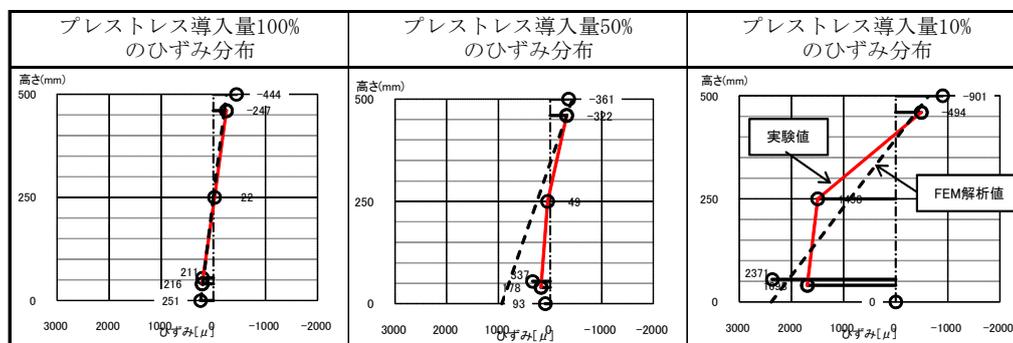


図-2 支間中央部の設計荷重相当時 (60kN) のひずみ分布

3.2 荷重-変位関係

図-3 に各試験体の荷重-変位関係および表-2 に各試験体の最大荷重の一覧を示す。プレストレス導入量

10%は載荷荷重が約 30kN で降伏し、50%は約 50kN、100%は約 80kN でそれぞれ降伏しており、プレストレス導入量が小さい程、剛性も低下する結果となった。また、最大荷重時（載荷荷重約 140kN）の変位にも差が見られ、プレストレス導入量10%では180mm、50%では150mm、100%では100mmであった。

図-3、表-2の結果より、プレストレス導入量が低下しても、最大荷重は変化しないことが示された。また、実験値はFEM解析値とよく一致している。

表-2 最大荷重比較表

プレストレス導入度	最大荷重		
	計算値	FEM解析値	実験値
プレストレス 100%	116.3 kN	143.9 kN	142.8 kN
プレストレス 50%	116.3 kN	144.5 kN	146.1 kN
プレストレス 10%	116.3 kN	142.7 kN	142.6 kN

3.3 ひび割れ性状

図-4 にそれぞれのプレストレス導入量における載荷荷重 50kN 時のひび割れ発生状況を示す。同じ載荷荷重時のひび割れ発生範囲は異なっている。

図-5 にプレストレス導入量 10%およびの 50%における載荷荷重約 50kN 時のFEM解析によるひび割れ発生範囲を示す。解析におけるひび割れ発生範囲は、実験値とある程度一致することが確認された。

また、表-3 にひび割れ発生間隔の一覧を、図-6 にひび割れ幅の挙動図を示す。破壊性状は、全ての試験体で圧壊であり、ひび割れ発生区間の範囲、ひび割れ幅の大きさ、ひび割れ発生間隔の大きさは、全ての項目でプレストレス導入量 10% > 50% > 100% という結果であった。

表-3 ひび割れ発生間隔

プレストレス導入度	ひび割れ発生範囲 (A面、B面平均)	ひび割れ本数 (A面、B面平均)	ひび割れ間隔
プレストレス 100%	3815 mm	19.5 本	195.6 mm
プレストレス 50%	4993 mm	22.5 本	221.9 mm
プレストレス 10%	5303 mm	20.0 本	265.2 mm

3.4 コンクリートのひずみ挙動

図-7 にコンクリート表面三軸ひずみの橋軸方向ひずみ ϵ_{xx} 、橋軸直角方向ひずみ ϵ_{yy} 、橋軸から 45° 傾いたひずみ ϵ_{xy} をそれぞれ示す。

プレストレス導入量が減少するほど、ひずみが増加する時期が導入量 100% に比べて早いことが確認された。

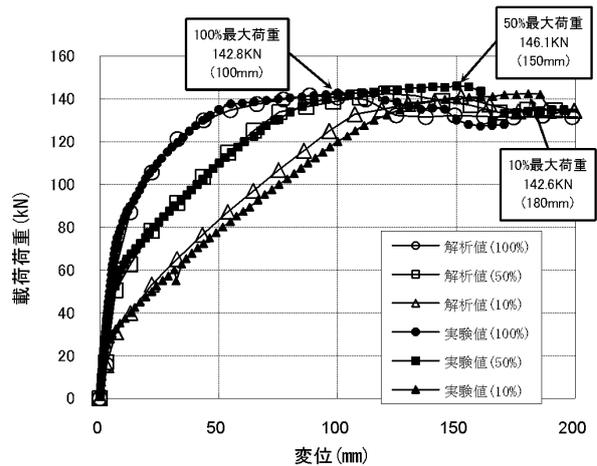


図-3 荷重-変位関係

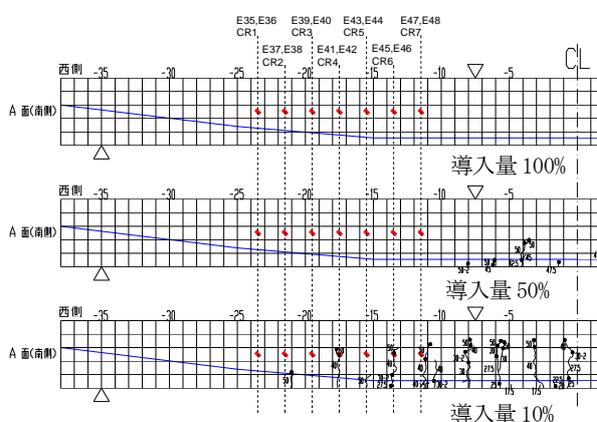


図-4 載荷荷重 50kN 時のひび割れ図

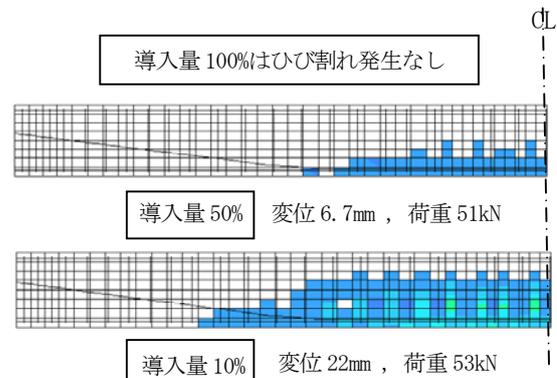


図-5 FEM解析によるひび割れ範囲図

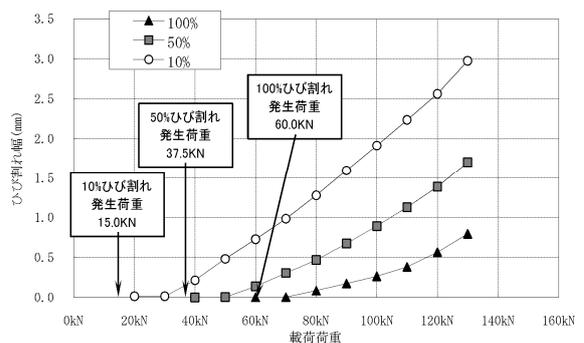


図-6 ひび割れ幅の挙動

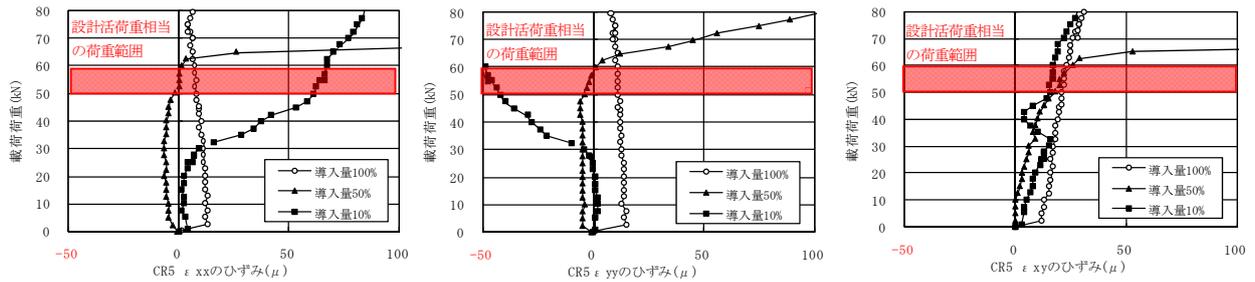


図-7 コンクリート表面三軸ひずみ

また、図-8に載荷荷重に対する最大主ひずみ角度をそれぞれ示す。プレストレス導入量が低下すると、早期に断面図心位置のコンクリートの載荷荷重に対する最大主ひずみ角度が小さくなり、鉛直方向のひび割れが発生しやすくなることが確認された。

$$\text{主ひずみ角度} : \phi = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} - 2\epsilon_{xy}}{\epsilon_{xx} - \epsilon_{yy}} \right)$$

3.5 スターラップのひずみ挙動

図-9にスターラップひずみの発生挙動をそれぞれ示す。プレストレス導入量が低下すると設計活荷重（導入量100%のひび割れ発生荷重）以下でひずみが増加し始めることが確認された。

4. 考察

- ① 図-2に示すように、コンクリートひずみの分布や変化に着目して、実橋での載荷試験やFEM解析等を組み合わせることにより、プレストレス導入量を推測できると考えられる。
- ② 図-3に示すように、たわみ性状に着目した場合、ひび割れを生じた実構造物においても、本実験と同様の現象が起こると考えられる。
- ③ 図-4、図-6、表-3に示すように、プレストレス導入量の違いによって、ひび割れ発生荷重、ひび割れ幅、ひび割れ性状に違いが見られた。また、図-5に示すようにFEM解析でひび割れ発生範囲の推定は可能であることから、ひび割れ性状に着目することで、プレストレス導入量をある程度推測できると考えられる。
- ④ 図-7に示すように、設計活荷重相当の荷重より小さい荷重（30kN～50kNなど）であっても、ひずみ勾配に着目した場合、その増加ひずみの勾配の違いより、プレストレス導入量をある程度推測できると考えられる。また、図-8に示すように最大主ひずみ角度を計測することでも推測できると考えられる。
- ⑤ 図-9に示すように、スターラップひずみの発生範囲の把握が可能であれば、プレストレス導入量を推測できると考えられる。

5. おわりに

プレストレスの導入量の低下が部材挙動に及ぼす影響を確認するために行った載荷試験の結果、導入量が異なる供試体はひび割れ発生状況が異なっており、ひび割れ発生までの挙動はそれぞれの供試体において異なっていると推測される。実構造物においては、ひび割れが発生しない程度の荷重を載荷し、FEM解析から分かるひび割れ発生状況やひずみ発生挙動などと照らし合わせることで、PC構造物のプレストレスの状態を把握することはある程度可能であると考えられる。今後は、本試験で得られた結果を詳細に分析し、供用後のPC構造物の検査手法として活用するため検討を進めて行く。

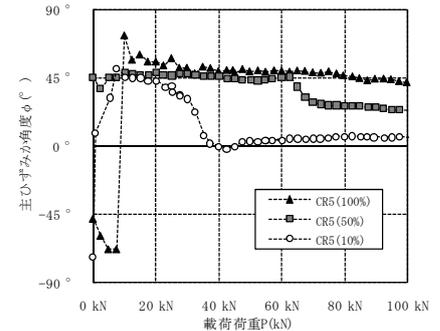


図-8 主ひずみ角度の挙動

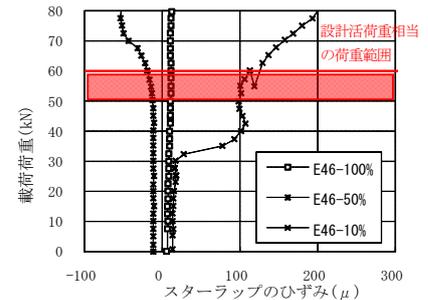


図-9 スターラップひずみの発生挙動