

44年供用したPC桁の載荷試験報告 (その1)

首都高速道路(株)

(一財)首都高速道路技術センター 正会員

(一財)首都高速道路技術センター

○増井 隆

秋元 泰輔

蒲 和也

1. はじめに

44年間供用した首都高速号横羽線生麦出入口のPC桁が首都高速横浜環状北線の建設に伴い撤去された。そのうち3体のPC桁を試験体を利用して、それぞれ静的載荷試験、疲労試験およびプレストレス消失試験(人為的に内ケーブルを切断および外ケーブル方式により補強し、それら段階ごとに載荷試験)を実施した。また、載荷試験後には試験体を解体してPCグラウトの充填状況やPC鋼線の状態を確認するとともに、PC鋼線やコンクリートを採取して引張強度試験を実施した。本調査は、これらの試験・調査により首都高速道路の構造物として供用されたPC桁の耐荷性および耐久性を評価し、PC構造物の劣化評価のための技術的知見などを得ることを目的とした。

ここでは、静的載荷試験および疲労試験の結果を報告する。プレストレス消失試験の結果は「44年供用したPC桁の載荷試験報告(その2)¹⁾」で報告する。

2. 試験体の概要

2.1 試験体概要

試験体の採取位置を図-1に示す。生麦出入口はセンターランプ形式で、出口と入口それぞれ1車線の対面通行となっている。そのうち本線と出入口が分離構造になっている橋台付近の外桁1体、一体構造になっている料金所付近の中桁2体を試験体とした。どちらも昭和43年にしゅん功した単純PCT型活荷重合成桁橋(ポストテンション方式)である。しゅん功年から昭和36年プレストレストコンクリート設計施工指針を適用されていると推察される。

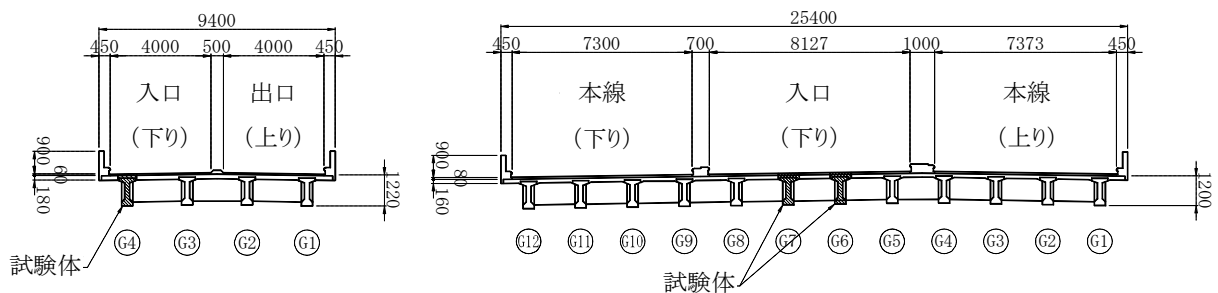


図-1 試験体採取位置図 (左: 橋台付近, 右: 料金所付近)

2.2 試験体の諸元

試験体の諸元および設計図を表-1および図-2に示す。どの試験体も桁長16.95m、桁高1.1m、主桁上の床版厚0.1mであり、採取位置によって、PC鋼線本数および定着工法に違いはあるものの、設計耐力は同等である。合成桁であることから床版と主桁一体で採取した。

表-1 試験体諸元

載荷試験種別	静的載荷試験	疲労試験
採取位置	橋台付近	料金所付近 [※]
寸法	桁長16.95m, 桁高1.1m, 床版厚0.1m	
PC鋼線	SWPR1A(23-φ5), 5本 シース径φ45	SWPR1A(12φ5), 8本 シース径φ35
定着工法	BBRV工法 端部定着3本, 上縁定着2本	フレシネ工法 端部定着5本, 上縁定着3本
有効プレストレス	832N/mm ²	815N/mm ²

※料金所付近から採取した試験体2体のうち1体はプレストレス消失試験体

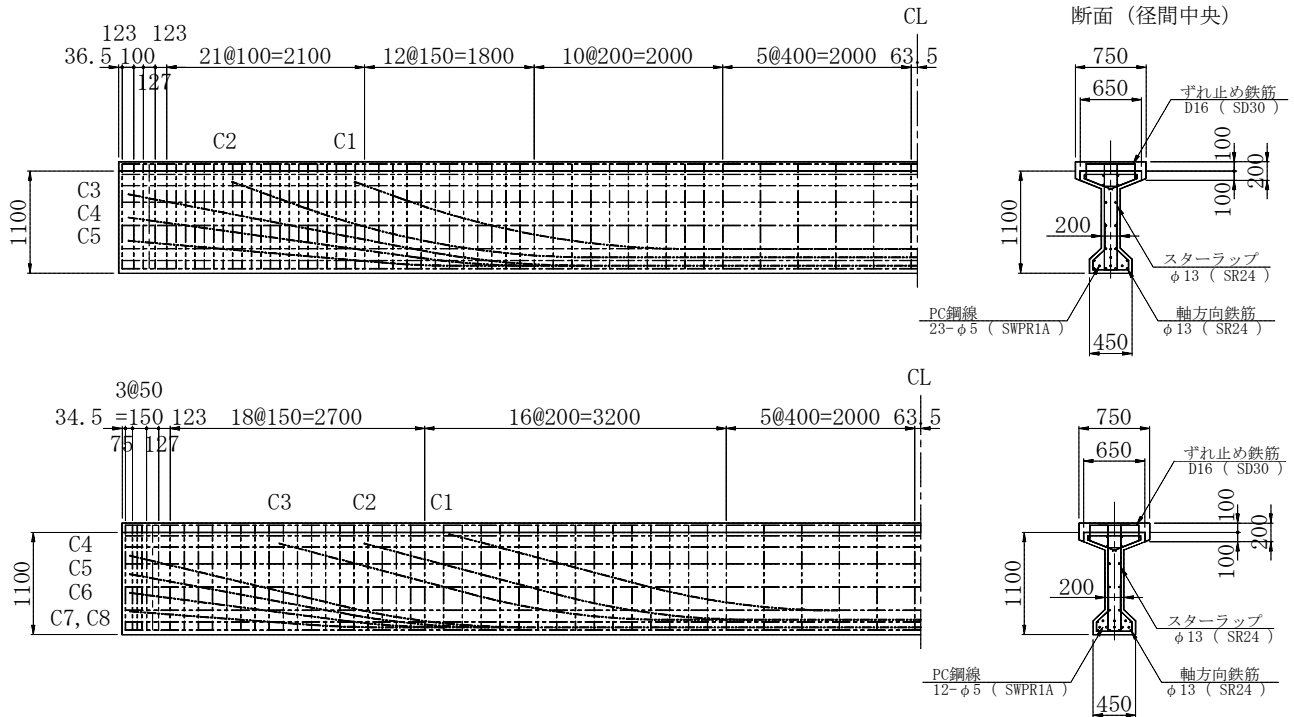


図-2 試験体設計図 (上：静的荷重試験体，下：疲労試験体)

2. 3 試験体の状態

試験体撤去に先立ち両試験体の接近目視調査および応力計測を実施した。接近目視調査の結果、一部に鉄筋露出やひび割れ、豆板などが確認されたが耐荷力や耐久性に影響を与えるほどの損傷ではなく比較的健全な状態にあった。応力計測の結果、荷重車 (25t) 走行による計測値は計算値と比較して同等、かつ主桁間の荷重分配状況も良好であった。また、実交通荷重 (頻度計測) による支間中央の桁下縁応力は、設計計算値に対して約 4 割程度と余裕があることが確認された。

3. 静的荷重試験

3. 1 試験方法

図-3 に荷重方法を示す。支間 16.3m の単純支持、荷重点間距離 2.0m の 2 点荷重とし、破壊に至るまで荷重した。

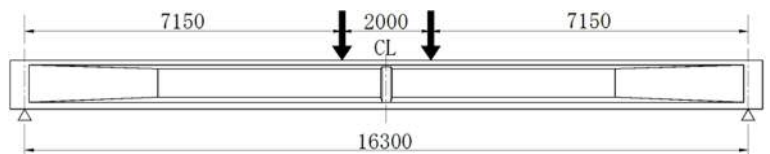


図-3 荷重方法

3. 2 試験結果

荷重-変位曲線および破壊時のひび割れ発生状況を図-4 および図-5 に示す。荷重 360kN でひび割れが発生するまで、荷重の増加とともに直線的に変位が増加し、それを超えると変位が伸び始め、荷重-変位曲線の傾きがほぼ水平になったところで上縁コンクリートが圧壊した。後に実施した解体調査および引張試験の結果、PC 鋼線の破断はみられなかったが、降伏していることが確認された。よって、PC 鋼線降伏後にコンクリートが圧壊したと考えられ、終局荷重作用時の照査で想定される破壊過程と一致する結果となった。また、圧壊に至った荷重 1028kN は計算値 980kN を 5%程度上回り、十分な曲げ耐力

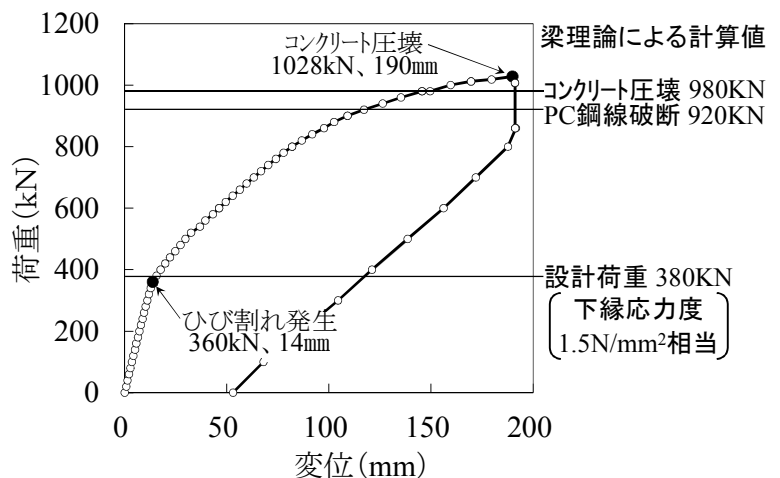


図-4 荷重-変位曲線 (静的荷重試験)

試験体撤去に先立ち両試験体の接近目視調査および応力計測を実施した。接近目視調査の結果、一部に鉄筋露出やひび割れ、豆板などが確認されたが耐荷力や耐久性に影響を与えるほどの損傷ではなく比較的健全な状態にあった。応力計測の結果、荷重車 (25t) 走行による計測値は計算値と比較して同等、かつ主桁間の荷重分配状況も良好であった。また、実交通荷重 (頻度計測) による支間中央の桁下縁応力は、設計計算値に対して約 4 割程度と余裕があることが確認された。

を有していた。一方、計算値では920kNでPC鋼線が破断することになるが、前述のとおり破断していない。これは、本試験体PC鋼線の引張試験の結果、伸びが7.1% (8本の平均値) に達していたことから、降伏ひずみ (1.5%) 到達後も伸び能力に余力があったためと推察される。

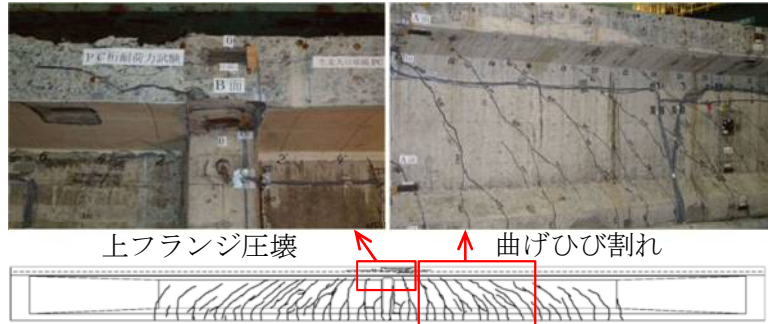


図-5 破壊時のひび割れ発生状況 (静的荷重試験)

4. 疲労試験

4. 1 試験方法

静的荷重試験と同じ荷重方法 (図-3) で、疲労破壊に至るまで繰返し荷重を実施した。また、繰返し荷重を20万回実施するごとに静的荷重を実施し、たわみやひび割れ性状などの変化から疲労の影響を確認した。この他、AEセンサーを桁下面に複数設置し、PC鋼線の破断時期および位置を検出した。

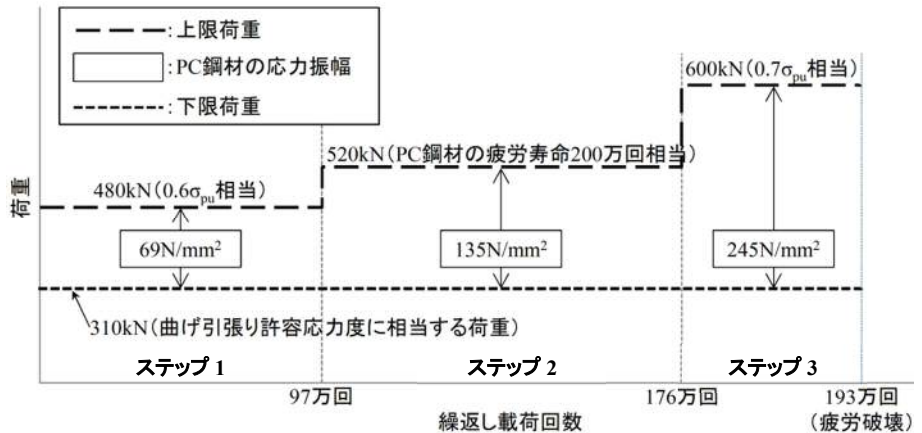


図-6 繰返し荷重の荷重と回数 (実績)

繰返し荷重の荷重と回数の実績を図-6に示す。現実的な試験期間で疲労破壊に至らせることとし、初期荷重により桁下面にひび割れを生じさせたのちに、下限荷重を曲げ引張り許容応力度に相当する荷重にするとともに、上限荷重を段階的に大きくすることにより劣化を促進させた。上限荷重は目標とするPC鋼材応力を段階ごとに決めて、それに相当する荷重とした。計画では100万回ごとに次の段階へ移行することになっていたが、ステップ2への移行後も疲労によるたわみ性状などの変化がほとんどみられなかったことから、ステップ2からステップ3へ移行する荷重回数を200万回から176万回に前倒した。

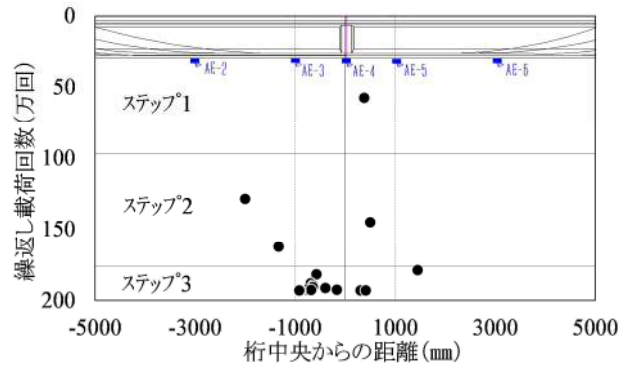


図-7 AE計測によるPC鋼線破断検出結果



図-8 破壊時のひび割れ発生状況 (疲労試験)

ステップ2への移行後も疲労によるたわみ性状などの変化がほとんどみられなかったことから、ステップ2からステップ3へ移行する荷重回数を200万回から176万回に前倒した。

4. 2 試験結果

(1) 破壊状況

AE計測によるPC鋼線破断検出結果および破壊時のひび割れ発生状況を図-7および図-8に示す。AE計測により素線17本の破断を検出した。これは、後に実施した解体調査結果とも一致している。破断17本中13本はステップ3で検出され、その位置は桁中央付近に集中した。また、破断が集中した付近のひび割れ幅が卓越し最大12mmに至った。破壊時のひび割れ発生範囲は耐力力試験体 (図-5) が支間中央から左右に5mを超えたのに対して、疲労試験体 (図-8) は4m程と狭くなった。PC鋼線の破断が局所で起きたことにより、特定のひび割れにおいてのみ、ひび割れ幅が著しく進行し、ひび割れ発生範囲を狭くしたと推察される。

(2) たわみ性状

繰返し荷重回数とたわみおよび PC 鋼線破断率の関係を図-9 に示す。素線 96 本中 7 本が破断 (破断率 7.3%) したのちに、破断が連続して起こり、たわみが急増した。初期荷重および各ステップの最終静的荷重時の荷重-変位曲線を図-10 に示す。ステップが進むにつれて弾性領域から破壊領域への変化点が低下した。特に初期荷重からステップ 1 (97 万回) およびステップ 2 (176 万回) からステップ 3 (193 万回) の低下が顕著であった。前者は初期荷重時に曲げひび割れが多く発生したこと、後者はステップ 3 の繰返し荷重中に PC 鋼線が多く破断したことが要因としてあげられる。

(3) PC 鋼線の推定疲労寿命

PC 鋼線の「実験値から求めた S-N 関係 (実験値)」および「疲労強度算定式²⁾ から求めた S-N 関係 (計算値)」を重ねて図-11 に示す。破断した 17 本のうち 16 本が計算値を超える疲労寿命を有していた。

5. 解体調査および材料試験

荷重試験終了後の両試験体を解体 (切断・はつり) して、切断面の状態観察や採取した材料の強度試験を実施した。

PC グラウトは、疲労試験体の定着部近傍に充填不良がみられたもののそれ以外は概ね良好に充填されていた。PC 鋼線および鋼製シースは両試験体とも表面の一部に薄く錆がみられる程度で比較的健全な状態であった。コンクリートの力学的性質や鉄筋および PC 鋼線の機械的性質は現行の規格値と比較しても遜色なく健全な耐力を有していた。

6. まとめ

44 年供用した PC 桁の各種試験・調査を実施した。その結果、以下のことを確認した。

- ① 静的荷重試験体の圧壊荷重 1028kN は、計算値の PC 鋼線破断荷重 920kN および圧壊荷重 980kN を超え十分な曲げ耐力を有していた。
- ② 疲労試験体は、PC 鋼線が局所的に破断していき、特定のひび割れにおけるひび割れ幅の進行に伴いたわみが急増し疲労破壊に至った。PC 鋼線が破断せず、ひび割れが分散して発生して圧壊した静的荷重試験体とは対照的な破壊過程であった。PC 鋼線の疲労寿命は、ほとんどが計算値を超え十分な疲労耐久性を有していた。また、本試験結果と応力計測結果から 44 年間の供用に対するの疲労劣化の影響もほとんどなかったことが確認できた。
- ③ 疲労試験体の一部に PC グラウトの充填不良が確認されたが、両試験体とも PC 鋼線には薄く錆がみられる程度で健全な状態に保たれていた。桁から採取したコンクリート、鉄筋および PC 鋼線は、どれも十分な耐力を有していた。

参考文献 1) 蒲ほか：44 年供用した PC 桁の荷重試験報告 (その 2)，第 23 回 PC シンポジウム論文集
 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 (設計編) 2007, P59

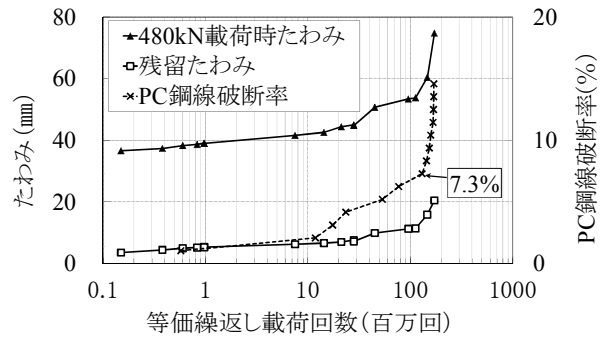


図-9 たわみと PC 鋼線破断率 (ステップ 1 換算)

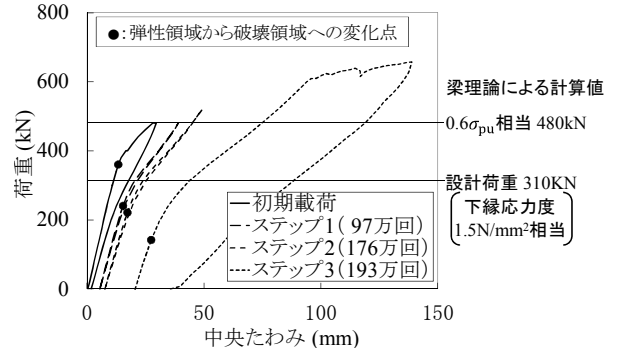


図-10 荷重-変位曲線 (疲労試験)

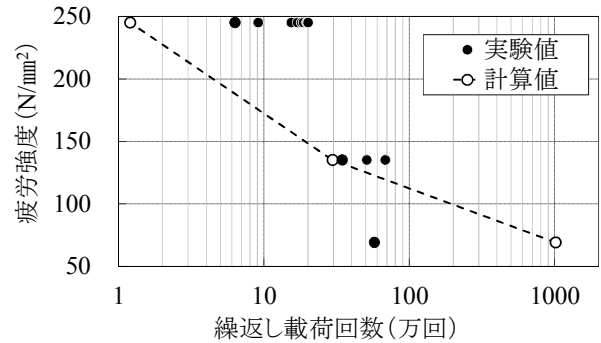


図-11 S-N 関係