

(19) 27年間供用されたポストテンションT桁の破壊载荷試験

榎安部工業所	技術本部技術部	正会員	○葛西 康幸
同	上	正会員	今尾 勝治
岐阜大学	工学部土木工学科	正会員	内田 裕市
同	上	正会員	小柳 治

1. はじめに

PC 定着工法としては、国産第1号工法である安部ストランド工法にて昭和45年に製作架設し、交通量の多い道路橋で27年間供用された大型ポストテンションT桁について、破壊に至る力学的特性の把握および耐久性の評価を目的として、静的な繰返し载荷試験等を行った。試験に供した桁は、桁長26.0m、スパン24.8mであり、この規模の桁について破壊に至るまでの载荷試験を行った例は極めて少ない。本論文では、その試験結果およびモーメント-曲率曲線についての解析結果を報告する。

2. 試験概要

本試験では、PCT 桁の破壊に至る静的な繰返し载荷試験および耐久性の評価として、コンクリート、鉄筋およびPC鋼材の物性値試験等を行った。

2.1 供試体

供試体の諸元を表-1に、また、図-1中に供試体の形状を示す。なお、各種試験は2本の供試体について行った。

表-1 供試体諸元

構造形式	ポストテンション単純T桁橋	
定着工法	安部ストランド工法	
使用鋼材	37本よりφ26.8mm	
桁長	26.0m	
スパン	供用時	25.2m
	試験時	24.8m
設計荷重	TL-20	
供用時交通量	C交通	

2.2 载荷試験方法

载荷は、定格荷重150tfの载荷試験機を使用し、図-1中の载荷方法図に示すように、スパン24.8m、等曲げモーメントスパン1.5mの2点集中载荷とした。载荷の方法は静的繰返しとし、等曲げモーメント区間の曲率については、図-2に示すように、両载荷点に対するスパン中央の相対たわみを、上フランジ側面に取り付けた鋼製ビームを介して高感度変位計(1/1000mm)により計測し求めた。静的繰返し载荷の载荷荷重ステップの概念図を図-3に示す。曲げひび割れ発生までの载荷を2サイクル、その後、中央点たわみ90、150mmまでの载荷を2サイクルずつ行った後、供試体が破壊するまで载荷した。载荷荷重の制御方法については、曲げひび割れ発生まで荷重制御により行い、それ以降については载荷時を変位制御、除荷時を荷重制御により行った。また、ひび割れ調査は、たわみ量50、70、90、120、150mm時に、目視により行った。

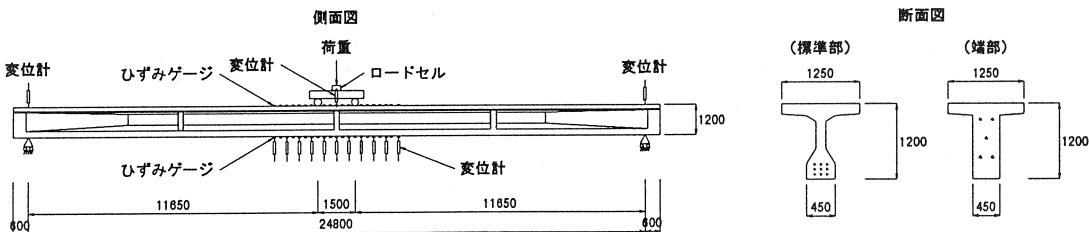


図-1 供試体の形状および载荷方法

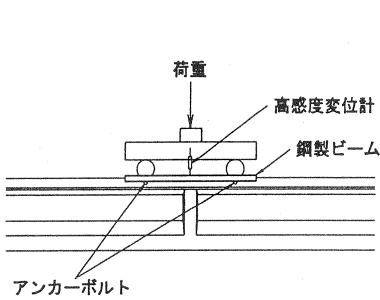


図-2 曲率の測定方法

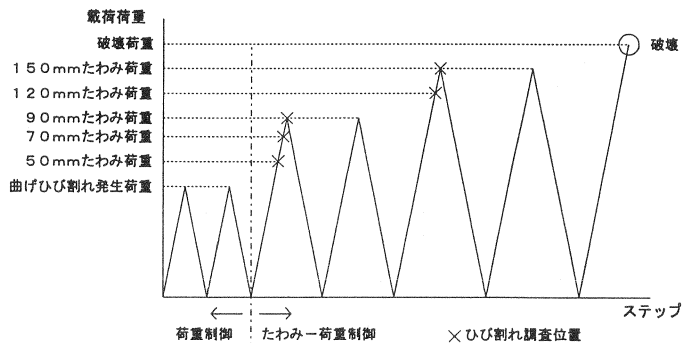


図-3 載荷荷重ステップの概念図

3. 試験結果および考察

3.1 曲げひび割れ発生荷重, 破壊荷重 および破壊形態

設計相当荷重, 曲げひび割れ発生荷重および破壊荷重を表-2に示す。ここでい

う設計相当荷重とは, TL-20 荷重が載荷されたときの中央断面の曲げモーメントに相当する荷重であり, 曲げひび割れ発生荷重とは, 目視によりひび割れが確認された荷重である。設計相当荷重 14.8tf に対して, 曲げひび割れ発生荷重は 35.9tf, 34.2tf と 2 倍以上大きく, また, 破壊荷重については 92.0tf, 94.8tf という 6 倍以上の耐力を有する結果となった。これらの結果より, それぞれの供試体は, 27 年間という長期間交通量の多い条件での供用においても, 十分な耐力があることが示された。

供試体の破壊に至る挙動については, いずれの供試体についても曲げひび割れ発生後, 曲げひび割れが進展, その後, 載荷点外側の曲げひび割れが載荷点方向に向かうせん断ひび割れに進展し, 最後に載荷点外側近傍のコンクリート上縁が圧壊するという挙動を示した。ここで, 測定できたコンクリートの圧縮ひずみの最大値は供試体 No.1 が 2303 μ , No.2 が 2047 μ であった。土木学会のコンクリート標準示方書¹⁾などでは, コンクリートの終局ひずみを設計基準強度にもよるが, 2500~3500 μ の範囲で規定している。後述する物性値試験で, コンクリートの圧縮強度は 2 本の桁の平均で 567kgf/cm² という結果を得ており, これをコンクリート標準示方書の規定に用いると終局ひずみは 3000 μ 以上であり, その点からすると本試験で得られた終局ひずみはこれより小さかった。一方, Rüsch²⁾は T 型断面の場合には矩形断面に比べ終局ひずみが小さくなることを報告しており, 本試験での終局ひずみはこの報告に示されている値と概ね一致する結果となった。なお, 桁が 150mm たわんだ状態でのひび割れ発生状況写真を写真-1 に示す。最終的な曲げひび割れの発生間隔は, 300mm 程度であった。

表-2 設計相当荷重, 曲げひび割れ発生荷重および破壊荷重

	供試体 No.1	供試体 No.2
設計相当荷重 (tf)	14.8	
曲げひび割れ発生荷重 (tf)	35.9	34.2
破壊荷重 (tf)	92.0	94.8

3.2 荷重-中央点たわみ曲線 およびモーメント-曲率曲線

計測された荷重-中央点たわみ曲線を図-4に, 等曲げモーメントスパン内で求めたモーメント-曲率曲線を図-5に示す。両者を比較すると, ほぼ同形状の曲線である。また, 荷重-中央点たわみ曲線およびモーメント

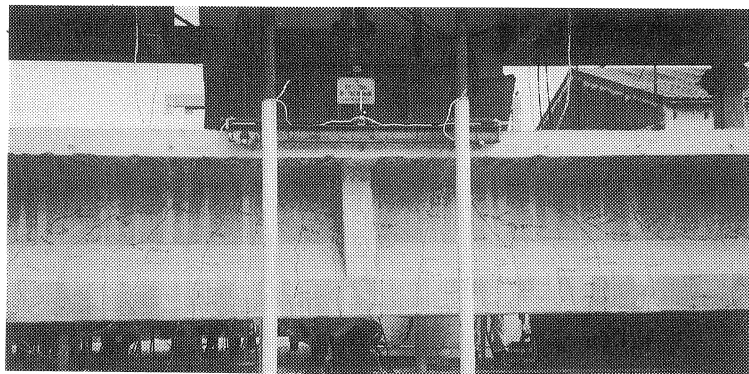


写真-1 ひび割れ発生状況写真

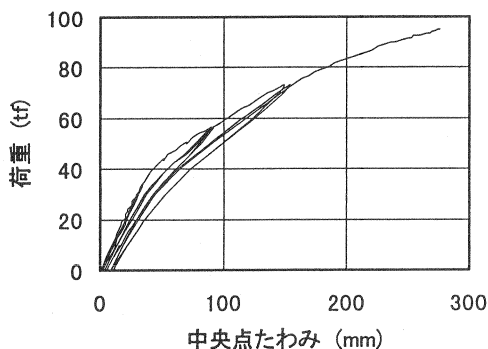


図-4 荷重-中央点たわみ曲線(供試体 No.2)

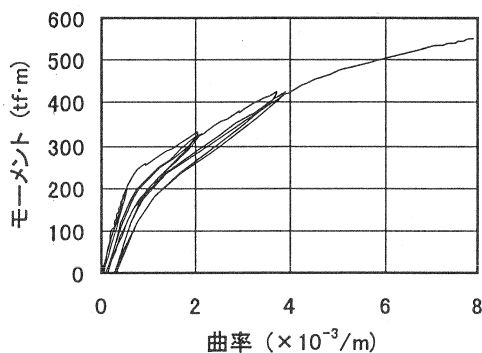


図-5 モーメント-曲率曲線(供試体 No.2)

—曲率曲線の履歴曲線が囲む面積は小さく、残留たわみも小さいことがわかる。これは、プレストレストコンクリート構造物特有の現象であり、除荷後の残留変位が小さいという優れた構造特性を確認できた。

3.3 コンクリート、鉄筋およびPC鋼材の物性値

コンクリートの物性値については、圧縮強度、引張強度、静弾性係数、ポアソン比および中性化深さについて測定した。鉄筋およびPC鋼材の物性値については引張強度を測定した。表-3中に各物性値の設計値・規格値および実測値を示す。各物性値の実測値は、すべてが設計値・規格値を上回っており、また、中性化もほとんど進行しておらず、今日においても十分な耐力を有していることが明らかとなった。

表-3 各物性値の設計値・規格値、実測値および解析に用いた値

	コンクリート					鉄筋		PC鋼材
	圧縮強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	静弾性係数 (kgf/cm ²)	ポアソン比	中性化深さ (mm)	降伏点強度 (kgf/cm ²)	引張強さ (kgf/cm ²)	引張強度 (tf)
設計値・規格値	400	—	—	—	—	2400以上	3900~5300	75.9
供試体 No. 1	544	40.7	3.46×10 ⁵	0.187	1.3	3540	4920	77.0
供試体 No. 2	590	55.5	3.44×10 ⁵	0.186	0.7	3410	4880	82.3
解析に用いた値	567	48.1	3.45×10 ⁵	—	—	3470	—	79.6

4. モーメント-曲率曲線の解析

コンクリートおよびPC鋼材の応力-ひずみ曲線をモデル化し、断面における平面保持の仮定と、断面に作用する圧縮応力と引張応力との釣り合い条件をもとに、切断法を用いて中央断面におけるモーメント-曲率関係について解析を行った³⁾。コンクリートの応力-ひずみ曲線には、図-6に示すように、圧縮側については実測値より終局ひずみを2000μとし、土木学会コンクリート標準示方書に示されている(1)式により算出した。

$$\sigma_c' = k_1 \cdot f_c' \times \frac{\epsilon_c'}{0.002} \times \left(2 - \frac{\epsilon_c'}{0.002} \right) \quad (1)$$

ここに、 σ_c' : コンクリートの圧縮応力度

ϵ_c' : コンクリートの圧縮ひずみ

k_1 : 0.85

f_c' : コンクリートの一軸圧縮強度(物性値試験の結果より、567kgf/cm²)

また、引張側については、岡村・前川モデル⁴⁾を用い、引張強度に達した後、そのときのひずみの2倍まで一定とし、その後の軟化を(2)式により算出した。

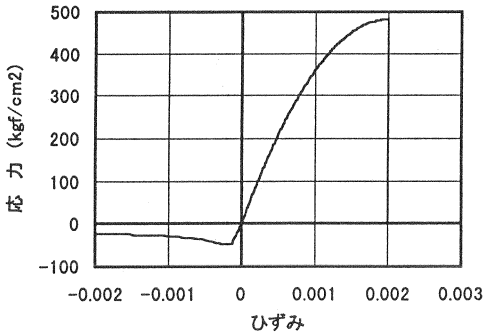


図-6 コンクリートの応力-ひずみ曲線(圧縮:正)

$$\sigma_i = f_i \left(\frac{\varepsilon_{iu}}{\varepsilon_i} \right)^c \quad (2)$$

ここに、 σ_i : コンクリートの引張応力度

ε_i : コンクリートの引張ひずみ

f_i : コンクリートの引張強度

(物性値試験の結果より、48.1kgf/cm²)

ε_{iu} : コンクリートの引張強度に達したときの引張ひずみの2倍の値

c : 付着性状を代表する係数(=0.4)

PC鋼材の応力-ひずみ曲線については、図-7に示す実測値を用いた。なお、解析に用いた値を表-3中に示す。

これらのモデル化により行った解析結果を図-8に示す。

なお、実測値は図-5の試験結果の包絡曲線である。実測値と解析値はよく一致し、モーメント-曲率関係を精度よく求めることができた。破壊モーメントは実測値 551tf・m、解析値 564tf・mとなった。

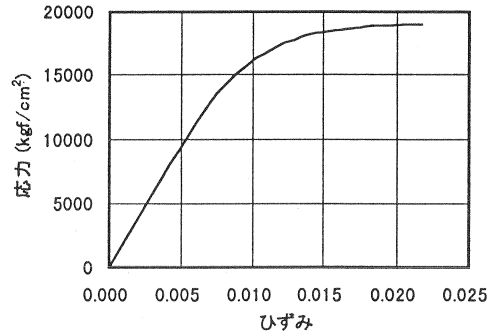


図-7 PC鋼材の応力-ひずみ曲線

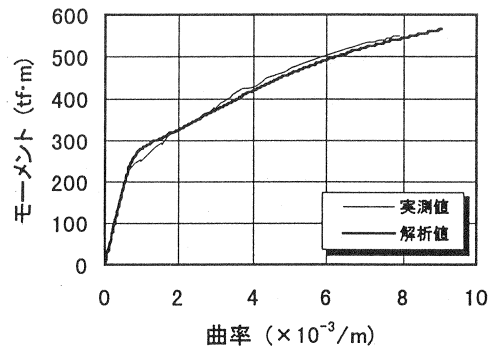


図-8 モーメント-曲率曲線の
実測値と解析値の比較

5. まとめ

本研究により得られた所見を、以下にまとめる。

- ①交通量の多い道路橋で27年間供用された安部ストランド工法大型ポストテンションT桁の材料は、設計値および規格値に対する劣化および鋼材の腐食等も認められず、現在においても安全性が確認できた。
- ②設計相当荷重に対して、曲げひび割れ発生荷重および破壊荷重は十分な耐力を有していた。
- ③プレストレストコンクリート構造物特有である残留変位が小さく、したがって、履歴曲線の囲む面積が小さい荷重-中央点たわみ曲線およびモーメント-曲率曲線を得た。また、これらからPC構造物の優れた構造特性を実証できた。
- ④本計測方法により、PC実桁のモーメント-曲率曲線を精度よく計測することができた。
- ⑤解析により得られたモーメント-曲率曲線と実測値とはよく一致した。

【参考文献】

- 1) (社)土木学会: コンクリート標準示方書・設計編, pp.23-24, 1996.3
- 2) Rüsch, H.: Researches Toward a General Flexural Theory for Structural Concrete, Journal of the American Concrete Institute, pp.1-28, 1960.7
- 3) 名和真一, 浦瀬富夫, 内田裕市, 小柳治: PC鋼材の応力-ひずみ曲線とPC曲げ部材の挙動に関する研究, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.406-407, 1997.9
- 4) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, pp.27-60, 1991.5