

第 6 章

PC 構造物の現有作用応力計測

6.1 概要

コンクリート構造物は、耐久性が高く永久構造物と考えられてきた。しかし、近年、塩害、中性化、アルカリ骨材反応などの劣化により、ひび割れ、鉄筋腐食などの変状が顕著に生じたコンクリート構造物^{1)~6)}が増加している。

ポストテンション方式のPC橋では、グラウトの充填不良、および塩害などが原因でPC鋼材が腐食、破断し、それに起因する異常ひび割れ^{7)~12)}や落橋事故^{13)~15)}も報告されている。さらに、想定外のクリープ・乾燥収縮によりプレストレスが減少し、設計値以上の異常たわみ^{16)~18)}が発生することもある。

道路橋の約4割に使用されているPC橋¹⁹⁾において、プレストレス量の管理は、維持管理のためには欠かせない項目である。PC橋においてプレストレス（現有作用応力）の減少は、直接耐荷力に大きく影響し、安全性の低下に繋がるためPC橋を適切に維持するためには、プレストレス量を正確に把握する必要がある。また、補修・補強設計を行う場合には、これを正確に計測することが必要不可欠となる。一方、これまでに建設されたPC橋の中には、設計図書が保存されておらず、設計で考慮されている応力状態が不明な橋梁が多く存在する。設計図書が保存されていたとしても、設計で考慮された応力状態にない橋梁も多く存在する。

現状として、プレストレス量の定期的な管理は行われておらず、施工初期時のPC鋼材の緊張力管理が実施されているのみである。既設橋梁のプレストレス量の把握に関しては、応力解放法を代表としたいいくつかの手法が提案されているが、いずれも計測精度などの影響から実用的に確立されているとはいえないのが現状である。その主要因は、コンクリートのひずみ計測の困難さであると考えられる。

本研究では、従来の現有作用応力計測法の精度向上を目的として、スキャナ装置を用いた応力解放法による既設PC橋の現有作用応力計測法（スリット応力解放法）の開発を行った。ここでは、スリット応力解放法の精度確認のため、プレストレス導入量が既知のプレテンションPC桁を用いて検討を行った。さらに、実構造物への適用性を確認するとともに、実際の維持管理へ適用した。

6.1.1 応力解放法

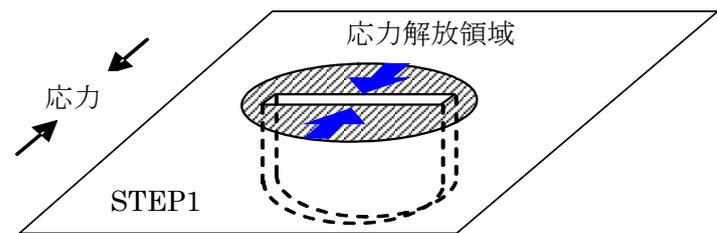
既設コンクリート構造物の応力計測には、主に応力解放法を応用した計測法が用いられる。応力解放法は、元来、鉱山業界で岩盤などに作用する応力を計測する方法として開発されたものである。応力解放法の原理は、応力を受けている岩盤にスリットやオーバーコアなどで応力を解放し、解放されたひずみや変形を計測することで応力解放前の初期応力を算出する方法である。代表的な計測方法を挙げると、孔径変化法²⁰⁾、孔壁ひずみ法²¹⁾、円錐孔底法²²⁾²³⁾などがある。この応用例として、コンクリート構造物においては、スロットストレス法²⁴⁾²⁵⁾、鉄筋切断法¹⁸⁾²⁶⁾、コア応力解放^{27)~35)}が適用されている。その中でもコア応力解放法は、もっとも多く研究・利用されている手法である。

(1) スロットストレス法²⁴⁾²⁵⁾

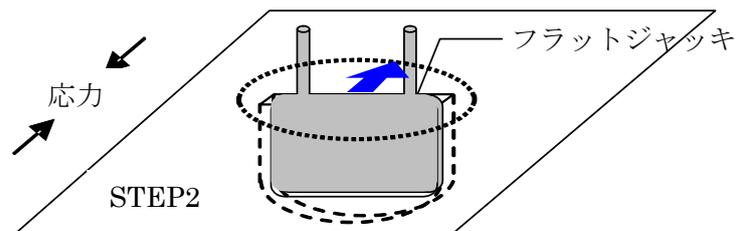
スロットストレス法とは、フランスで開発されたもので、コンクリート表面にフラットジャッキ挿入用の細長い溝（スロット）をコンクリート専用のチェンソーで削孔し（**図 6.1.1(a), (c)**）、応力が解放されたときのコンクリートの表面変位を計測する。そして、削孔穴にフラットジャッキを挿入し、加圧

する(図 6.1.1 (b), (d))ことにより解放前の状態に押し戻す力(圧力)と表面変位の関係から解放時に生じた変位に相当する作用応力を算出する方法である。

スロットストレス法の特徴として、構造物に作用している応力をダイレクトに計測できるが、低応力状態の計測精度が低いことや、計測にあたり装置が非常に大がかりであり、計測作業が煩雑で熟練を要するなどの欠点を保有している。



(a) 応力解放



(b) 加圧



(c) 応力解放

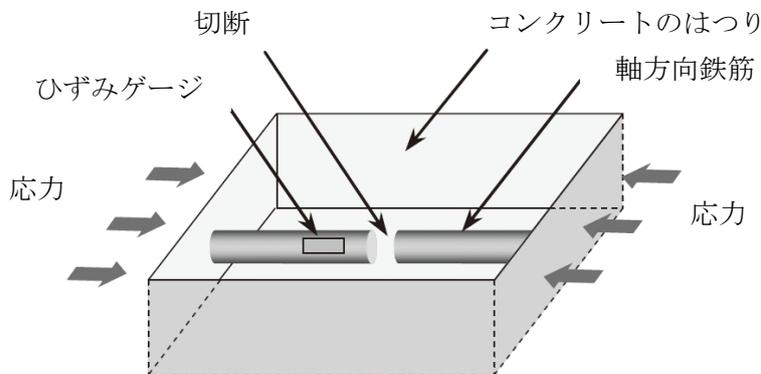


(d) 加圧

図 6.1.1 スロットストレス法

(2) 鉄筋切断法¹⁸⁾²⁶⁾

図 6.1.2(a)に鉄筋切断法のイメージ図を示す。鉄筋切断法は、コンクリート構造物中の鉄筋をはつり出し、ひずみゲージを貼付した後(図 6.1.2(b))鉄筋を切断(図 6.1.2(c))して解放されるひずみを計測してコンクリートの応力を計測する手法である。コンクリートと鉄筋は付着によって同様に变形するため、鉄筋切断によって生じるひずみには、コンクリートの乾燥収縮およびクリープによるひずみ成分が含まれる。したがって、コンクリートの現有用作用応力を計測するためには、計測されたひずみからそれらを分離する必要がある。分離する乾燥収縮およびクリープ値は、設計値を用いるため、実構造物との乖離から計測精度の低下が問題となる。また、はつりや鉄筋切断により構造物に与えるダメージの影響などの問題がある。



(a) イメージ図



(b) 切断前



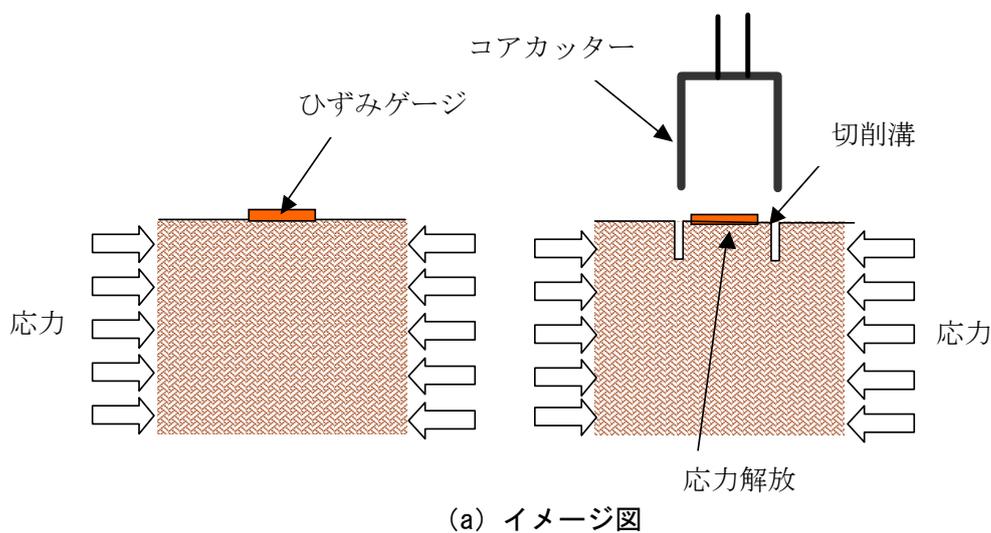
(c) 切断状況

図 6.1.2 鉄筋切断法

(3) コア応力解放法^{27)~35)}

コア応力解放法は、コンクリート構造物の応力計測法として多く利用・研究されている手法である。コア応力解放法の概要を図 6.1.3(a)に示す。コア応力解放法は、コンクリート表面にひずみゲージをあらかじめ貼付しておき、その周囲や近傍をコアカッターで切削する(図 6.1.3(b))。切削深さが深くなるにつれ、ひずみゲージ貼付位置の応力は解放される。このときの切削前後の解放ひずみを計測(図 6.1.3(c))し、計測値に静弾性係数を乗じて作用応力を算出する。

しかし、ひずみゲージは、骨材、温度、コア削孔時に使用する冷却水などの影響から精度よく計測することができないなどの欠点がある。さらに、ひずみゲージから得たひずみ値は、ゲージ長の平均した値であり、1枚のひずみゲージに対して、1点1方向のみの情報を得ることしかできず、多くの情報を得るためには、多数のひずみゲージを貼付する必要があるため、専用の計測装置が必要になり配線作業などが煩雑になる。



(b) コア削孔



(c) コア削孔後

図 6.1.3 コア応力解放法

6.2 スリット応力解放法

スリット応力解放法は、PC 構造物を部分的に切削し、応力解放した際のひずみをスキャナ装置により計測し、現有作用応力を計測するというこれまでにない新しい計測方法である。本計測法の独創的な点は、解放ひずみの計測にスキャナ装置を用いたことその他、応力を解放するための合理的な切削方法の適用および現有作用応力を計測するための解析手法にある。従来の応力解放法ではひずみゲージを用いるため、切削部分近傍の解放ひずみが大きくなるエリアを精度良く計測できなかったが、スキャナ装置を用いることによりこの問題を解決した。切削方法としては、PC 構造物では作用応力が卓越する方向が存在するため、これと直角方向に直線の溝（スリット）を切削するという作業性の良い合理的な方法を採用している。また、解析手法としては、計測対象物の FEM モデルを作成し作用応力を変化させ、実測値に最も近似する解放ひずみ分布を FEM の逆解析より求め現有作用応力を計測する方法である。

スリット応力解放法は、応力作用方向（プレストレス作用方向）に対して直角にスリット幅約3mm、スリット深さ約20mm～30mmのスリットをコンクリートカッターで切削し、解放ひずみを発生させる。そして、スリット切削前後のコンクリート表面をスキャナ装置で計測し、その画像を用いてDICMにより解析し、スリット周辺の解放ひずみを算出する。計測精度を向上させるために、計測範囲全域において、一直線上の解放ひずみをスリット切削方向に約100測線平均化し、解放ひずみ分布を取得する。

次に、応力解放を再現したFEM解析を行う。解析では、モデルの作用応力を変化させて、計測値に最も近似する解放ひずみ分布を逆解析で求める。つまり、計測値に最も近似した作用応力が現有作用応力となる。作業手順を以下に示す。

- ① 鉄筋探査を行い、鉄筋を切断しないスリット切削位置・深さおよびスキャナ計測位置を特定する。
- ② 計測位置をアセトンなどで清掃した後、計測面にスプレーを用いてランダムパターンを設ける。
- ③ 計測面にスキャナ装置の固定金具を取り付ける。
- ④ 固定金具にスキャナ装置を設置し（主走査が応力作用方向に対して水平）、応力解放前のコンクリート表面の計測を行う（初期画像）。
- ⑤ スキャナ装置を取り外して、応力作用方向に対して直角方向にコンクリートカッターで深さ約20mm～30mmのスリットを切削する。
- ⑥ 再度、固定金具にスキャナ装置を設置し（主走査が応力作用方向に対して水平）、応力解放後のコンクリート表面の計測を行う（変形画像）。
- ⑦ 初期画像と変形画像により DICM で解析し、解放ひずみ分布を得る。
- ⑧ ノギスなどでスリット切削深さ・長さを計測する。
- ⑨ FEM 解析により逆解析を行い現有作用応力を計測する。

6.3 プレテンション PC 桁を用いた計測精度の検証

プレストレス導入量が既知のプレテンション PC 桁 (JIS 桁) を用いて、スリット応力解放法の計測精度の検証を行った。ここでは、スキャナ装置 B を用いた。

6.3.1 試験概要

試験では、作業性を考慮してプレテンション PC 桁の下縁側を上向きに反転し、5 点支持で設置し、その上面側で試験を行った。図 6.3.1 にプレテンション PC 桁の概要図を示す。なお、試験では、荷重試験後のプレテンション PC 桁を使用したため、スリット応力解放法は、ひび割れの影響を受けない箇所を選定して行った。

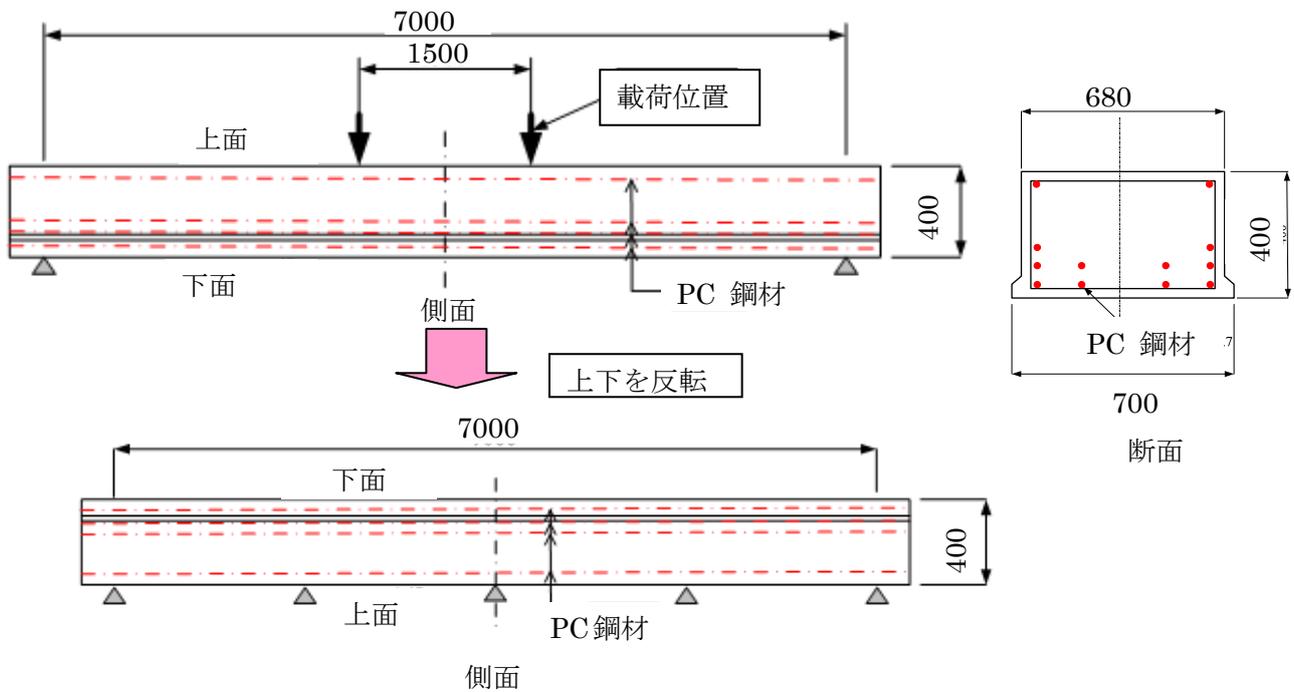


図 6.3.1 プレテンション桁 (mm)

6.3.2 計測結果

スキャナ装置による計測状況を図 6.3.2、スキャナ装置で計測したスリット切削前後のコンクリート表面の画像を図 6.3.3 に示す。なお、図 6.3.3 に見える白の斑点は、スプレーで塗布したランダムパターンを表している。スリット切削前後の計測画像を DICM で解析した解放ひずみ分布（以下対称点間距離変化率分布と呼ぶ）を図 6.3.4 に示す。対称点間距離変化率とは、図 6.3.3 (b) に示すようにスリットを中心とした 2 点間の距離変化率を意味する。図 6.3.4 より、スリットの近傍に近づくにつれてひずみが解放されているのが確認できる。

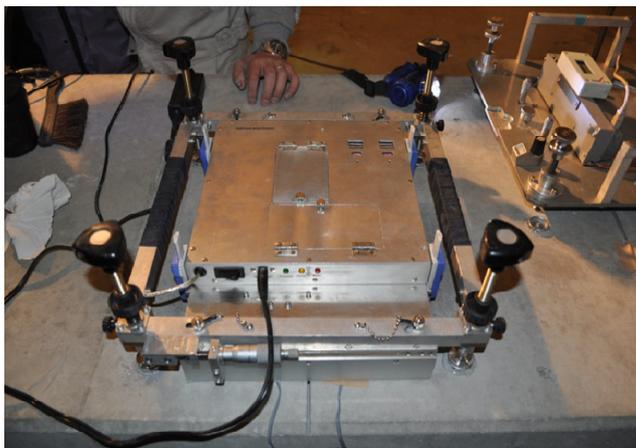
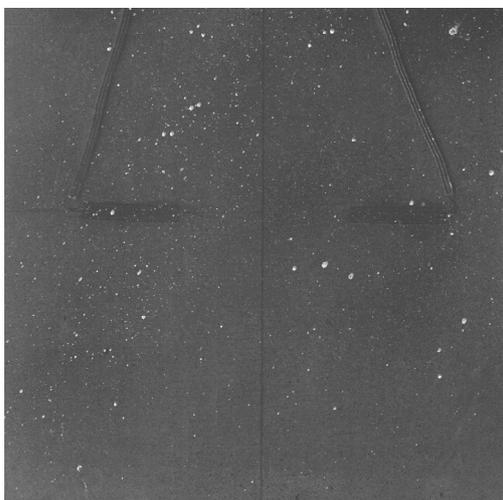
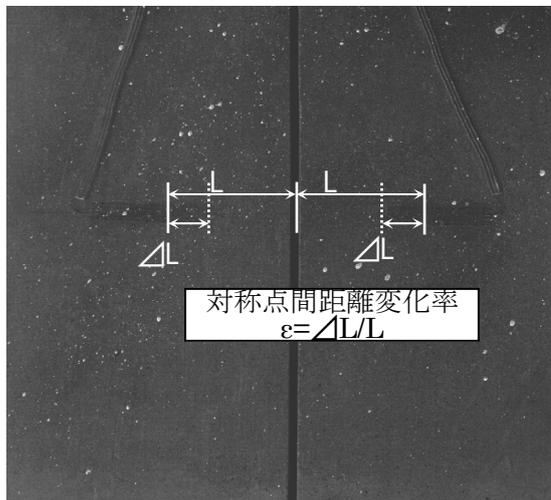


図 6.3.2 計測状況



(a) スリット切削前



(b) スリット切削後

図 6.3.3 コンクリート表面画像

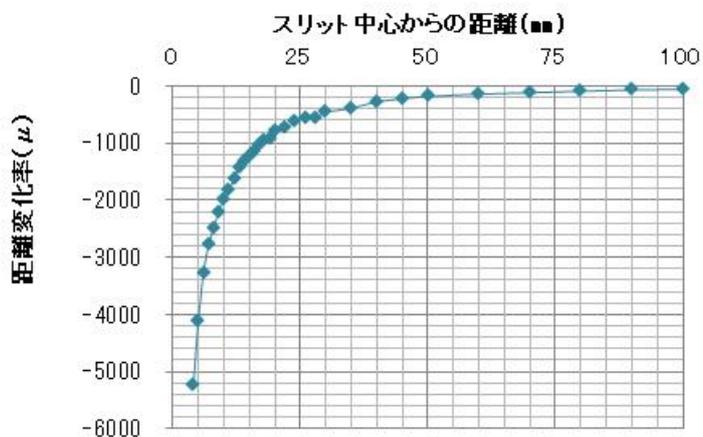


図 6.3.4 対称点間距離変化率分布 (DICM)

6.3.3 FEM 解析

スリット周辺部の解放ひずみ分布を把握するために汎用解析ソフト DIANA を用いて二次元線形 FEM 解析を行った。解析条件を表 6.3.1 に、解析モデル概要図を図 6.3.5、メッシュ分割図を図 6.3.6 にそれぞれ示す。解析モデルの寸法が計測対象物と異なる理由は、簡易モデルとすることで計算コストを抑えるためである。なお、簡易モデルにおいて解析精度に影響がないことを事前に確認している。平面応力要素の使用についても同様である。なお、コンクリートは、等方弾性材料とした。

解析で使用したコンクリートの静弾性係数は、プレテンション PC 桁の設計圧縮強度 50N/mm^2 からコンクリート標準示方書(表 6.3.2)を参考に $3.30 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ とした。また、ポアソン比は、 0.2 とした。スリット切削幅および深さは、切削後にノギスで計測した値を用い、それぞれ 3.0mm と 30mm とした。荷重条件の作用応力は、対称点間距離変化率分布の計測値に基づき逆解析を行い 8.12N/mm^2 とした。

FEM 解析から得られる対称点間距離変化率分布を図 6.3.7 に示す。図 6.3.7 より、計測値と同様にスリット近傍に近づくにつれてひずみが解放されているのが確認できる。

表 6.3.1 解析条件

解析タイプ	2D 線形解析
要素タイプ	8 節点平面応力要素
材料定数	<ul style="list-style-type: none"> ・ 静弾性係数 $E = 3.30 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ・ ポアソン比 $\nu = 0.2$
荷重条件	$q = 8.12\text{N/mm}^2$ (X 方向)
境界条件	$x = 151, y = 0$ (中央) : x, y 方向固定 $y = 0$ (下面) : y 方向固定

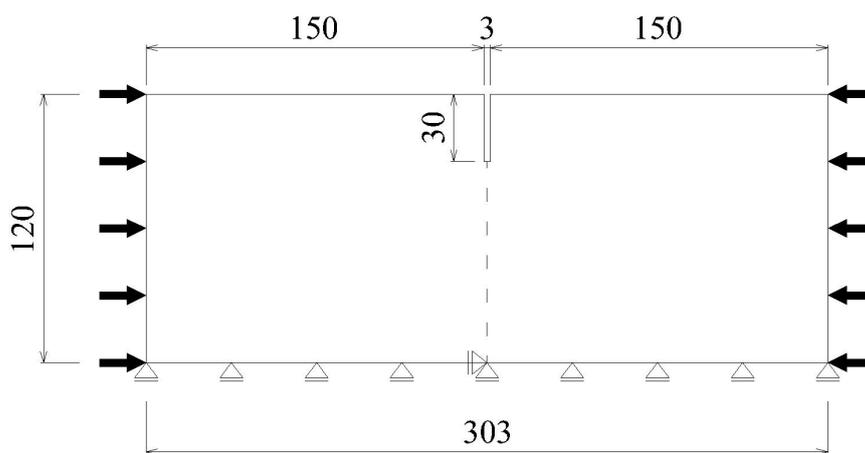


図 6.3.5 解析モデル (mm)

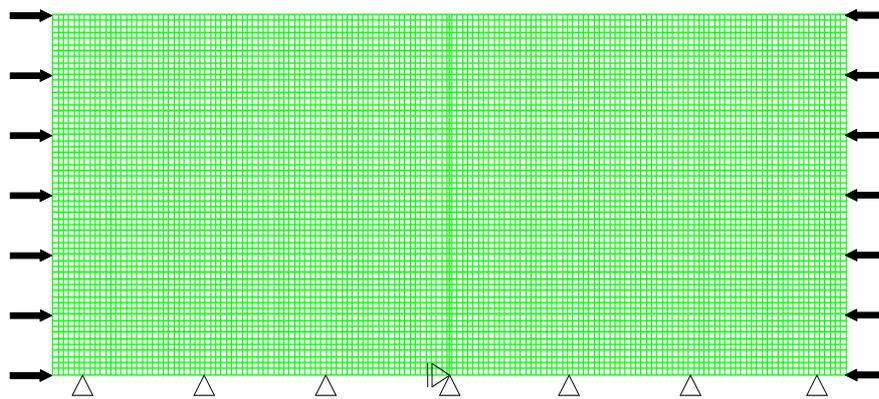


図 6.3.6 メッシュ分割

表 6.3.2 コンクリートの静弾性係数

圧縮強度 (N/mm ²)	24	30	40	50	60	70
静弾性係数 (kN/mm ²)	25	28	31	33	35	37

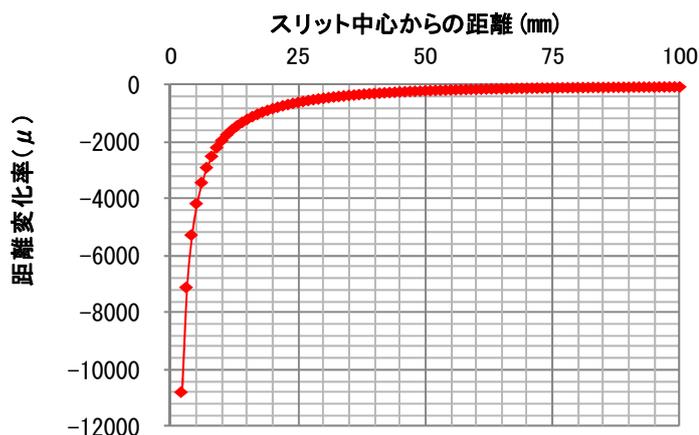


図 6.3.7 対称点間距離変化率分布 (FEM)

6.3.4 現有作用応力の推定

スキャナ装置による計測と FEM 解析により算出した対称点間距離変化率分布を図 6.3.8 に示す。図 6.3.8 に示すように逆解析から求めた 8.12N/mm² 作用させた解析値と計測値は一致しており、標準偏差が 2.85%となっている。したがって、表 6.3.4 に示すようにプレテンション PC 桁の下縁での作用応力は、8.12±0.23N/mm² と計測され、標準偏差 2.85%と精度のよい結果となっている。

プレテンション PC 桁のプレストレスの設計値は、9.03N/mm² であるため、計測値と設計値との差は 0.9N/mm² であり、精度良く計測することができた。若干の差異は、プレテンション PC 桁を上下に反転させた際に支持条件が多少不安定になっていたことなどが原因だと考えられる。

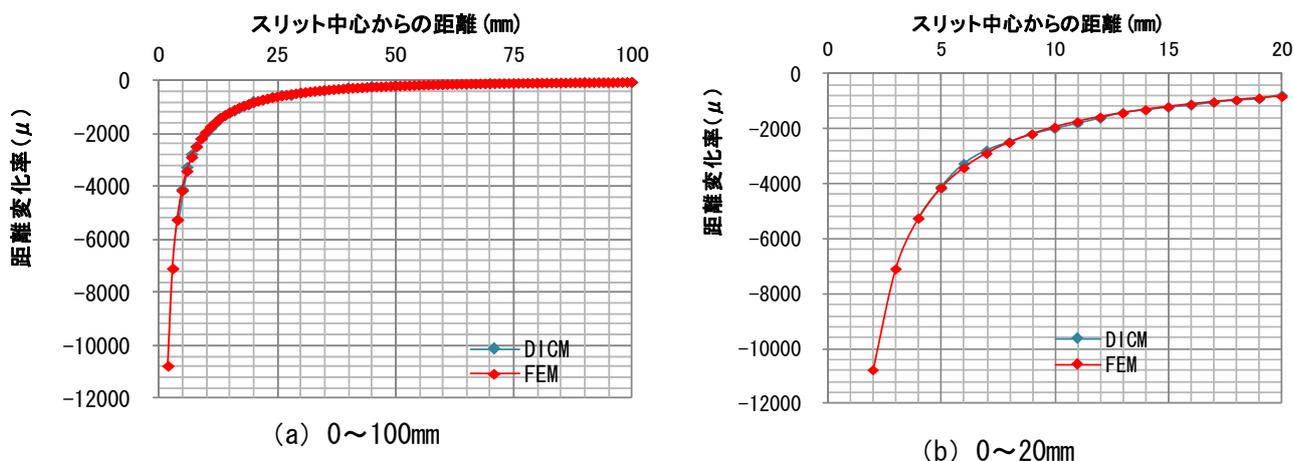


図 6.3.8 対称点間距離変化率分布

表 6.3.4 対称点間距離変化率分布

スリット中心からの距離 (mm)	解析値(8.12N/mm ²) δ1(μ)	計測値 δ2(μ)	δ2/δ1 (%)
2	-10771.5	-	-
3	-7099.0	-	-
4	-5262.4	-5247.0	99.7%
5	-4159.9	-4110.0	98.8%
6	-3424.2	-3269.0	95.5%
7	-2898.1	-2784.0	96.1%
8	-2502.9	-2480.0	99.1%
9	-2195.1	-2199.0	100.2%
10	-1948.4	-1995.0	102.4%
11	-1746.3	-1808.0	103.5%
12	-1577.5	-1621.0	102.8%
13	-1434.5	-1415.0	98.6%
14	-1311.8	-1314.0	100.2%
15	-1205.3	-1221.0	101.3%
16	-1112.2	-1150.0	103.4%
17	-1029.9	-1042.0	101.2%
18	-956.9	-966.0	101.0%
19	-891.6	-916.0	102.7%
20	-833.0	-780.0	93.6%
0 ~ 20mm	平均値 (δ2/δ1)		100.0%
	標準偏差 S (δ2/δ1)		2.85%
作用応力 σ(N/mm ²)			8.12
誤差 Δ=σ・S(N/mm ²)			0.23

静弾性係数 : $3.30 \times 10^4 \text{N/mm}^2$

6.4 ポストテンションPCT桁橋を用いた現有作用応力計測

スリット応力解放法の実現場の適用性について検討するため、5.4 節で記載したポストテンション PCT 桁橋において現有作用応力計測を行った。ここでは、スキャナ装置 B を用いた。

6.4.1 現有作用応力の推定

調査橋梁を写真 6.4.1 に示す。計測は、G2 桁のスパン中央部において行った。また、スリット切削状況、スキャナ装置の計測状況およびスリット切削前後のコンクリート表面の画像を写真 6.4.2、写真 6.4.3 および写真 6.4.4 にそれぞれ示す。写真 6.4.4 の白色の斑点は、計測前にスプレーで塗布したランダムパターンを表している。

スリット周辺部の解放ひずみ分布を把握するために汎用解析ソフト DIANA を用いて二次元線形 FEM 解析を行った。解析条件、解析モデル概要図およびメッシュ分割図を表 6.4.1、図 6.4.1 および図 6.4.2 にそれぞれ示す。解析は、応力解放の影響を受ける範囲のみを対称とした簡易モデルとした。なお、事前解析により簡易モデルの解析精度の確認を行っている。

解析で使用したコンクリートの静弾性係数は、採取したコアによる材料試験値 $3.00 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ とした。スリット切削幅および深さは、切削後にノギスで計測した値を用い、3.0mm と 30mm とした。

スリット切削前後の計測画像から DICM で解析した対称点間距離変化率分布を図 6.4.3 に示す。図 6.4.3 には 7.96N/mm^2 の応力を作用させた場合の FEM 解析の結果を合わせて示す。解析値と計測値は一致しており、標準偏差が 2.85%となった。よって、主桁下面に作用する現有作用応力は、 7.96N/mm^2 と計測される。



写真 6.4.1 調査橋梁



写真 6. 4. 2 スリット切削状況



写真 6. 4. 3 計測状況



(a) スリット切削前



(b) スリット切削後

写真 6. 4. 4 コンクリート表面画像

表 6. 4. 1 解析条件

解析タイプ	二次元線形解析
要素タイプ	8 節点四角形平面ひずみ要素
材料定数	静弾性係数 $E = 3.00 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ポアソン比 $\nu = 0.2$
幾何学条件	厚さ $t = 1\text{mm}$
固定条件	下面中央部 : x, y 方向変位を固定 下面 : y 方向変位を固定 (図 6. 4. 1 参照)

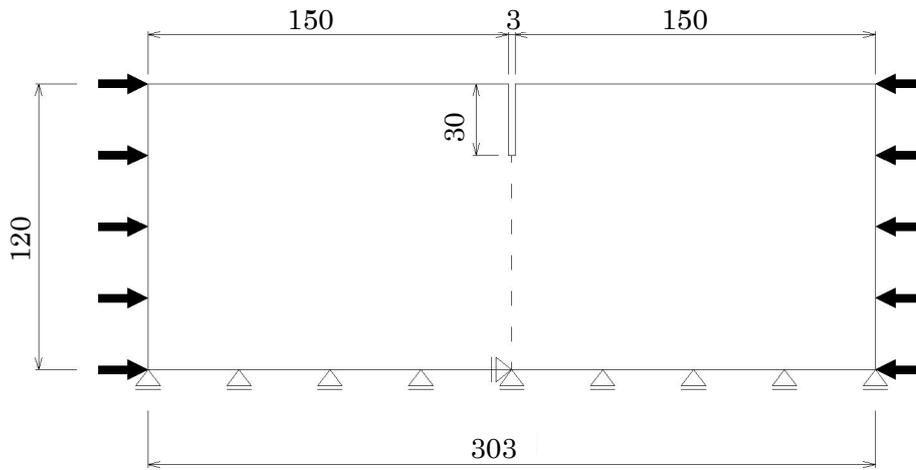


図 6.4.1 解析モデル (mm)

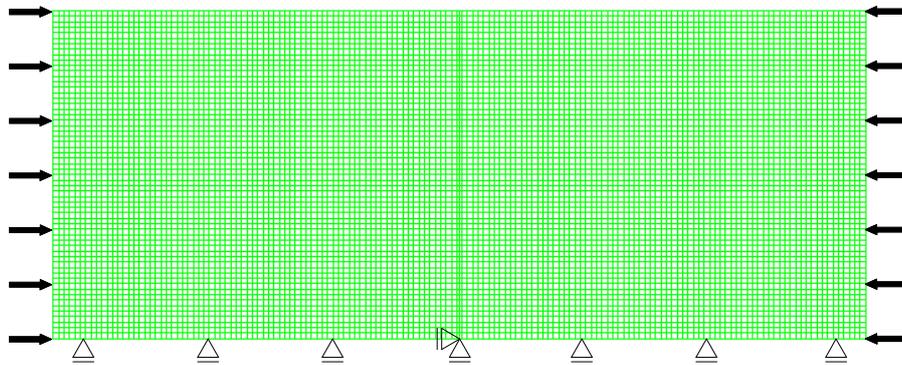


図 6.4.2 メッシュ分割

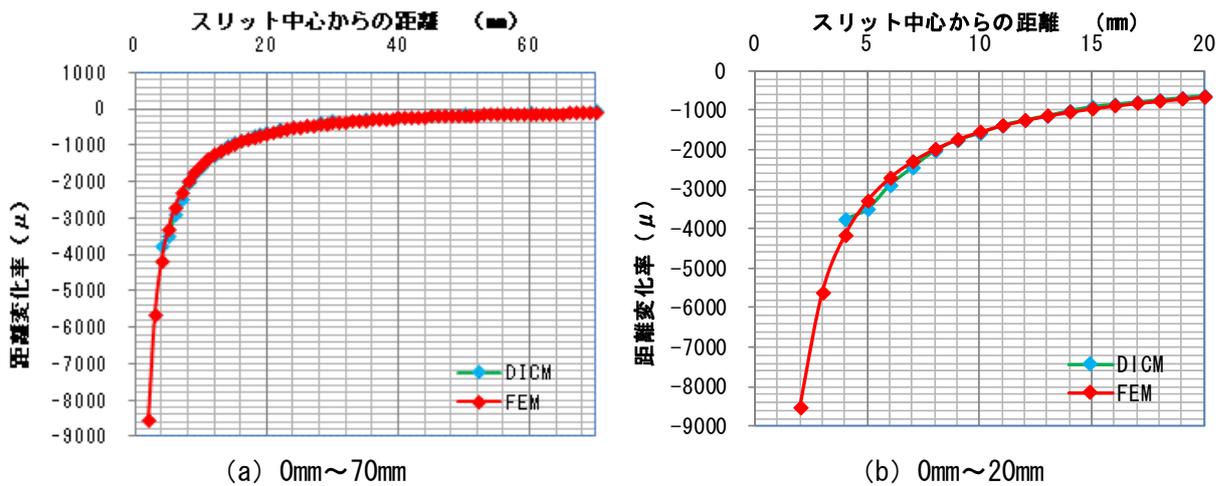


図 6.4.3 対称点間距離変化率分布

6.5 ASRが生じたポストテンションPC桁橋の現有作用応力計測

調査橋梁の側面図・断面図を図6.5.1, 図6.5.2に, 構造諸元を表6.5.1にそれぞれ示す. 調査橋梁は, 九州自動車道の福岡県みやま市山川町に架かる橋梁(写真6.5.1)である. 本橋梁は, 昭和47年に建設され, 構造形式は, ポストテンションPC単純合成I桁橋(5主桁)である. この橋梁は, 平成12年の点検で主桁に変状が確認されたことから, 現在, 定期的に追跡調査を実施している. 変状の特徴としては, 主桁下フランジおよびウェブにおいて橋軸方向にひび割れが確認されている(写真6.5.2). 雨水の影響を受ける外桁にひび割れが顕著に確認され, ひび割れ幅や長さが大きいことからひび割れの発生原因は, アルカリ骨材反応(以下ASRと呼ぶ)と計測される. つまり, 主桁には, 有効プレストレス量にアルカリ骨材反応による膨張圧が作用していることになる. ここでは, ASRの膨張圧を受けた主桁の応力状態を把握するために, G4, G5主桁の橋軸方向および橋軸直角方向に作用している現有作用応力計測を行った.

計測箇所を図6.5.3に示す. 計測箇所は, スパン中央からA2方向に約2.3m 地点の下フランジにおいて, 橋軸方向に作用する現有応力を計測した. また, その近傍でひび割れが存在しない位置において, 橋軸直角方向に作用する現有応力を計測した. ここでは, スキャナ装置Aを用いた.

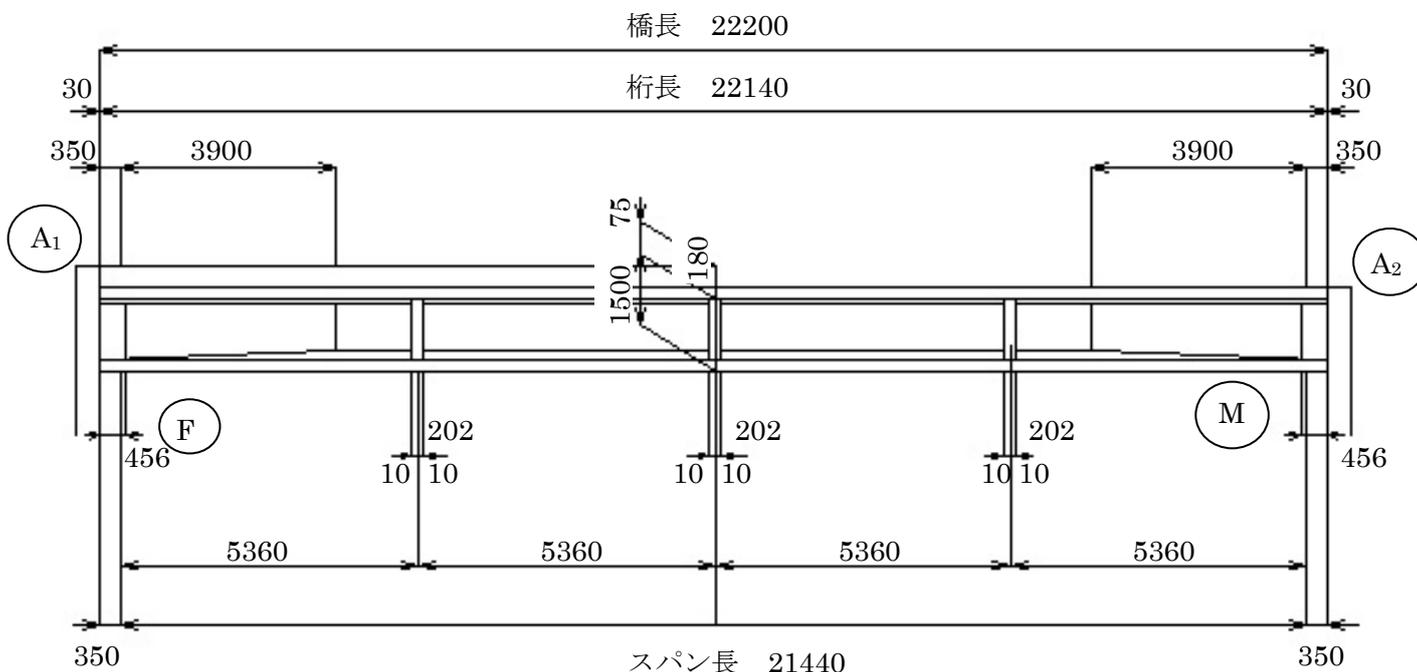


図 6.5.1 側面図(mm)

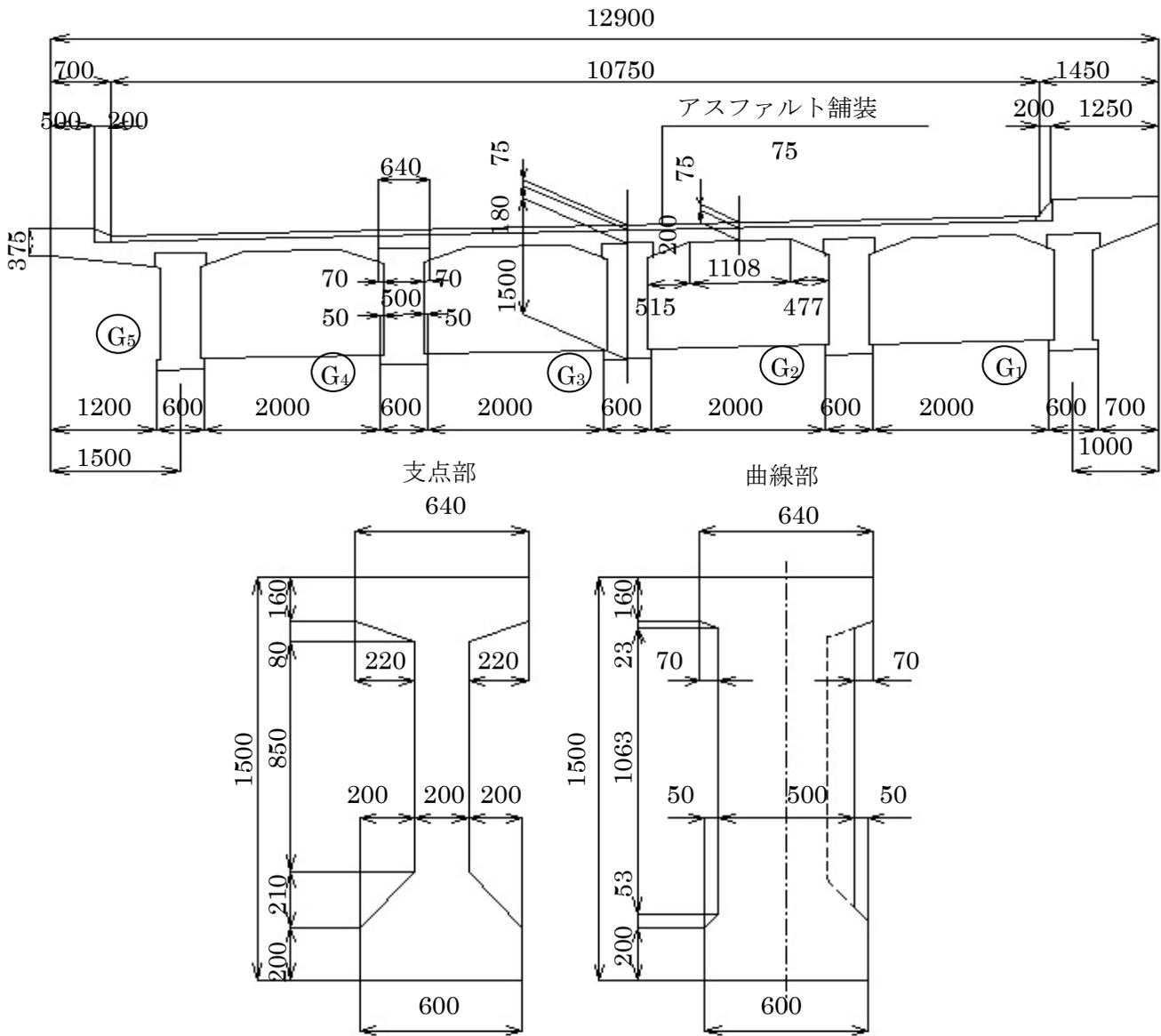


図 6.5.2 断面図 (mm)

表 6.5.1 構造諸元

適用示方書	昭和 39 年 RC 道路橋示方書 昭和 43 年 PC 道路橋示方書
設計荷重	TL-20
橋長	22.200m
有効幅員	10.750m
斜角	81°20'12"~80°39'37"
設計基準強度	主桁 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ 床版, 横桁 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$
鋼材	PC 鋼材 12- $\Phi 7$ 鉄筋 D295 $\sigma_{sa}=140\text{N/mm}^2$



写真 6.5.1 調査橋梁



写真 6.5.2 ひび割れ状況

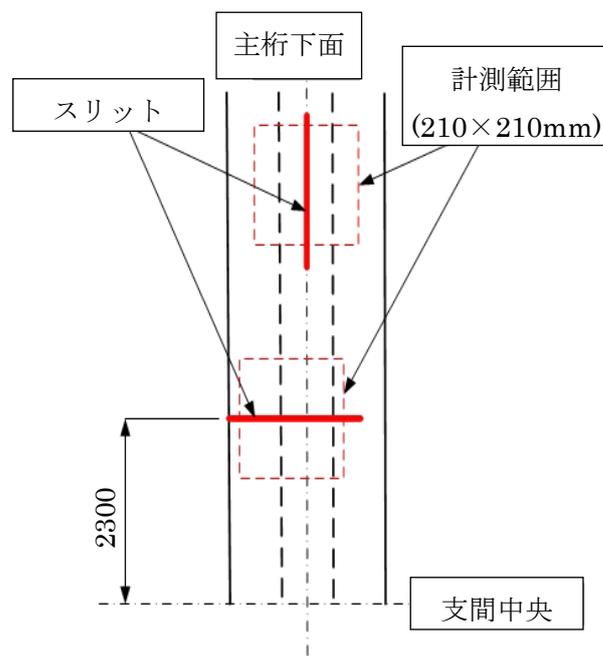


図 6.5.3 計測箇所 (G4, G5)

6.5.1 現有作用応力の推定

コンクリートカッターによるスリット切削状況とスキャナ装置による計測状況を写真6.5.3と写真6.5.4にそれぞれ示す。また、スリット切削前後のコンクリート表面の画像を写真6.5.5に示す。計測した対象点間距離変化率分布を元に部材に作用している応力を逆計算するために、汎用解析ソフトDIANAを用いて二次元線形FEM解析を行った。現有作用応力を算出する際に使用した静弾性係数は、設計値 ($3.2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$) を用いた。また、参考としてコア値 (G4 : $1.79 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, G5 : $9.79 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$) の現有作用応力も算出した。

FEM解析により逆解析して求めたG4主桁とG5主桁の橋軸方向および橋軸直角方向の対象点間距離変化率分布 ($E=3.20 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$) を図6.5.4, 図6.5.5に示す。また、スリット切削 (深さ20mm) 前後の画像からDICMによって解析した対象点間距離変化率分布も合わせて示す。橋軸方向の現有作用応力計測結果 (図6.5.4(a), 図6.5.5(a)) において、スリットから4mm~8mm間で計測値が乱れ、8mm~100mm間では、解析値と計測値は一致している。6.3節, 6.4節から、計測値と解析値は一致しており、スリット近傍で計測値の乱れは確認されていないことから、スリット近傍の計測値の乱れは、ASRの膨張力の影響を受けていると考えられる。橋軸直角方向の現有作用応力計測結果 (図6.5.4(b), 図6.5.5(b)) において、計測値と解析値は全体的に異なる推移を示していることから、橋軸方向と同様にASRの膨張力の影響を受けていることが考えられる。計測値は、プレストレスによるひずみの解放とASR膨張ひずみの解放の両者を含んでいる。これらのひずみ量を分離できれば、ASRが生じたPC橋梁の維持管理に有用な情報になると考えるが、データ量が少ないため、これに関しては、今後の研究課題としたい。

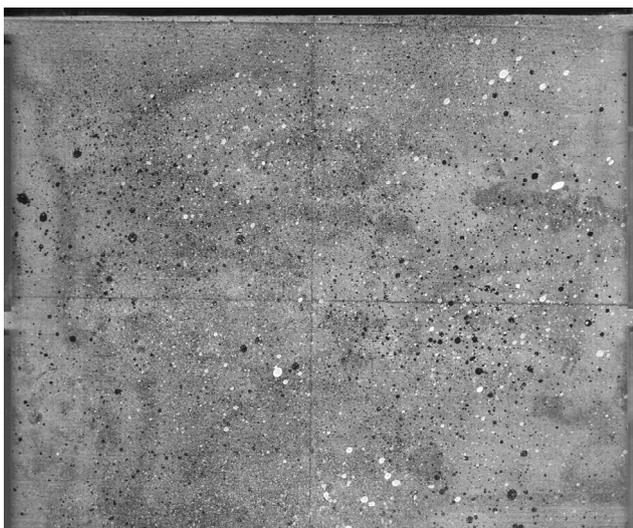
表6.5.2にG4, G5主桁の橋軸方向の現有作用応力計測結果と結果から算出した有効プレストレス量を示す。また、有効プレストレス量の設計値も合わせて示す。表より有効プレストレス量における計測値/設計値は、G4主桁：95.4%，G5主桁：104.4%となり、有効プレストレス量の大きな減少は確認されなかった。また、活荷重時の応力状態から耐荷力を十分保有していることが確認された。表6.5.3にE(静弾性係数)=設計値とコア値により算出した橋軸方向および橋軸直角方向の現有作用応力計測結果を示す。表より橋軸直角方向には、圧縮応力が作用している結果を得た。また、G5主桁は、G4主桁に比べて大きい値を示している。これは、ASRの膨張力による影響であることを表し、G5主桁がASRによる変状が顕著であることから、その影響を多く受けていることが考えられる。



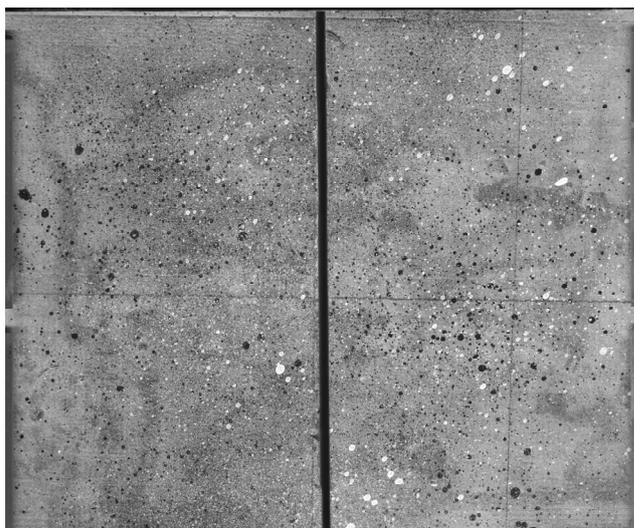
写真 6.5.3 スリット切削



写真 6.5.4 計測状況



(a) スリット切削前



(b) スリット切削後

写真 6.5.5 コンクリート表面画像

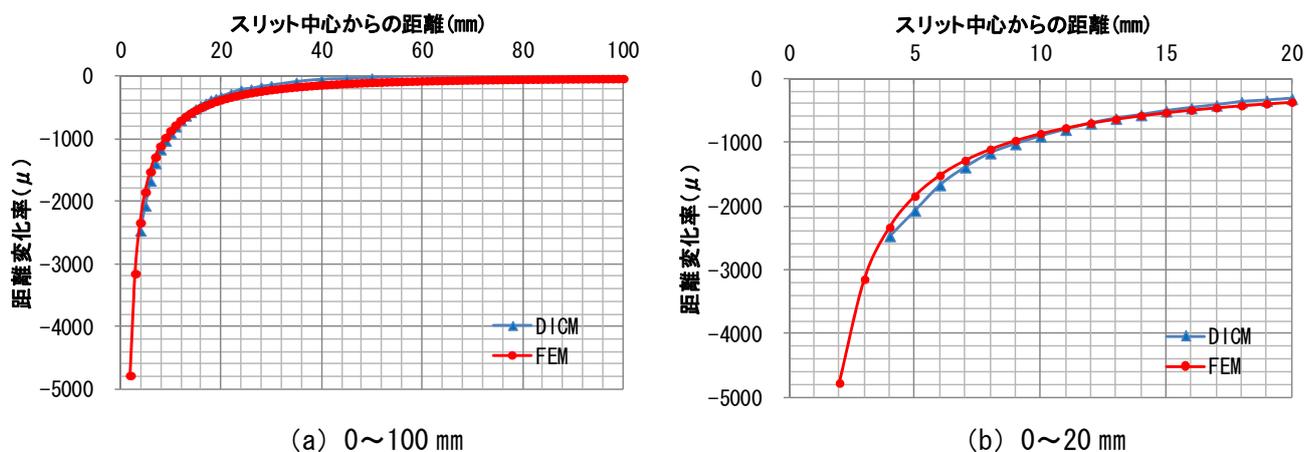


図 6.5.4 対称点間距離変化率分布(G4 橋軸方向)

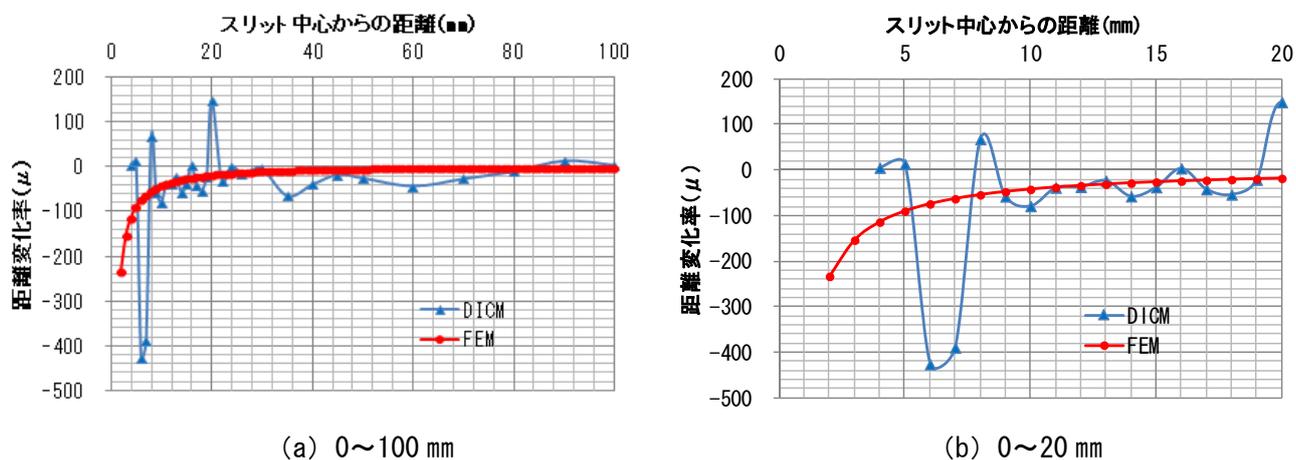


図 6.5.5 対称点間距離変化率分布(G4 橋軸直角方向)

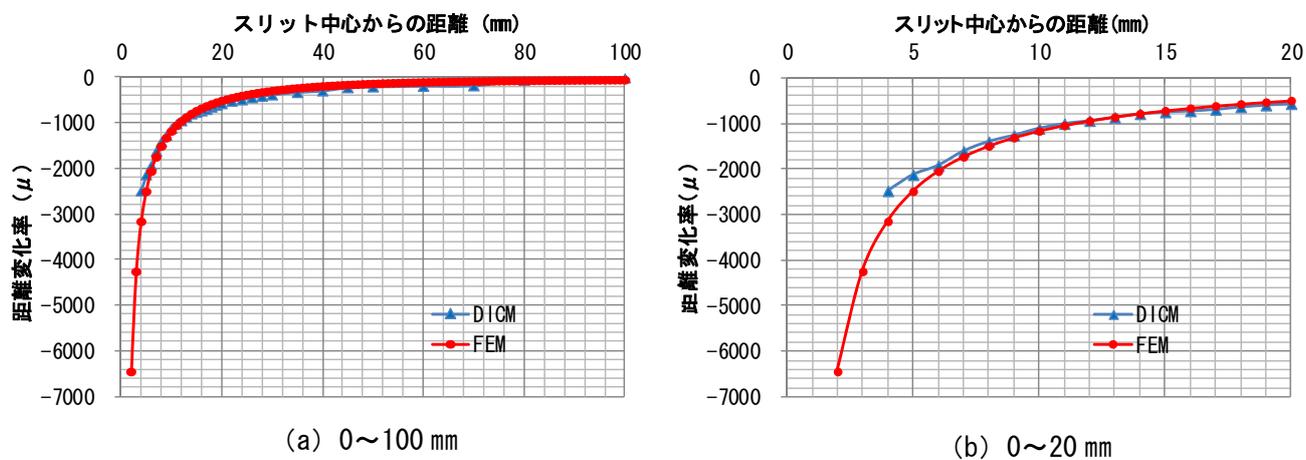


図 6.5.6 対称点間距離変化率分布(G5 橋軸方向)

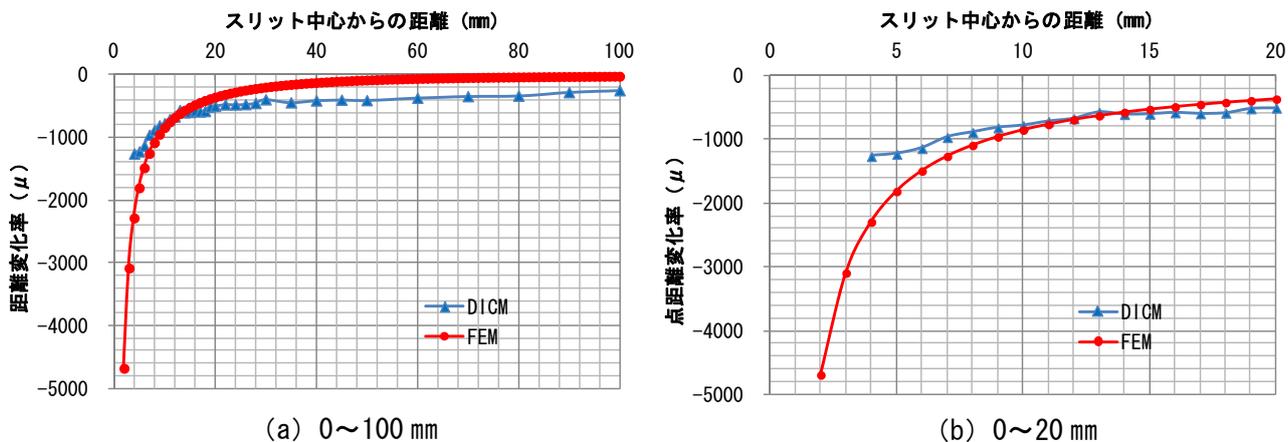


図 6.5.7 対称点間距離変化率分布(G5 橋軸直角方向)

表 6.5.2 現有用力計測結果 (N/mm²)

桁	応力方向	静弾性係数	計測値
G4	橋軸	3.20×10^4 (設計)	3.49
		1.79×10^4 (コア)	1.95
	橋軸直角	3.20×10^4 (設計)	0.26
		1.79×10^4 (コア)	0.14
G5	橋軸	3.20×10^4 (設計)	4.71
		9.79×10^3 (コア)	1.44
	橋軸直角	3.20×10^4 (設計)	5.14
		9.79×10^3 (コア)	1.57

+圧縮応力, -引張応力

表 6.5.3 有効プレストレス量 (N/mm²)

	G4 桁	G5 桁
①現有用力計測値 (計測値)	3.49	4.71
②死荷重合計	-9.45	-9.45
③有効プレストレス計測値 (①-②)	12.94	14.16
④有効プレストレス設計値	13.56	13.56
⑤計測値/設計値③/④	95.4%	104.4%
⑥活荷重 (設計値)	-4.47	-4.47
⑦活荷重時(計測値) ①+⑥	-0.98	0.24

+圧縮応力, -引張応力

6.6 まとめ

DICM の維持管理への応用研究として、スキャナ装置を用いた PC 構造物の現有用応力計測法の開発を行い、計測精度の検討を行うとともに実構造物へ適用した。得られた所見を以下に示す。

- (1) スリット応力解放法の計測精度を確認するために、プレテンションPC桁を用いて現有用応力計測の検証を行った結果、設計値との差は 0.9N/mm^2 であり、精度良く計測することができた。
- (2) 実際に供用されているポストテンションPCT桁橋においてスリット応力解放法を適用した結果、G2桁の現有用応力は、 7.96N/mm^2 と推定された。
- (3) ASRが生じたポストテンションPC合成I桁橋の現有用応力計測においては有効プレストレス量の計測値/設計値は、G4主桁：95.4%、G5主桁：104.4%となり、有効プレストレス量の大きな減少は確認されなかった。よって、耐荷力を十分保有していることが確認された。そして、橋軸方向および橋軸直角方向において、対象点間距離変化率分布において計測値が乱れる結果となった。これは、ASRの膨張力により応力が乱れていることが考えられる。また、橋軸直角方向には、圧縮応力が作用している結果を得た。これは、ASRの膨張力による影響であると考えられる。また、G5主桁は、G4主桁に比べて大きい値を示している。これは、G5主桁がASRによる変状が顕著であることから、その影響を多く受けていることが考えられる。

【参考文献】

- 1) 渡邊輝康：塩害・中性化の複合劣化を生じた橋脚の補修 - 床版の疲労補修, コンクリート工学, Vol.49, No.8, pp.80-83, 2011.
- 2) 日比野誠, 合田寛基：コンクリートの劣化および劣化の事例:塩害・中性化・硫酸塩劣化の事例, 建設物価, No.1116, pp.30-34, 2012.
- 3) 丸屋剛, 上東泰：塩害照査事例と周辺技術, コンクリート工学, Vol.49, No.8, pp.51-57, 2011.
- 4) 松田芳範, 今井勉, 石橋忠良：アルカリ骨材反応により劣化損傷を受けた PC 桁の補修, セメントコンクリート, No.765, pp.37-42, 2010.
- 5) 山田一夫：塩害とアルカリ骨材反応への対策に関する提言(その 1), コンクリートテクノ, Vol.29, No.8, pp.11-18, 2010.
- 6) 松本茂, 江良和徳:コンクリート構造物の ASR 抑制技術 特集 橋梁の長寿命化, 橋梁と基礎, Vol.44, No.8, pp. 91-94, 2010.
- 7) 鳥取誠一, 吉田幸司, 新田耕司：PC グラウト充填不良に対する補修, プレストレスト・コンクリート, Vol.45, No.2, pp.84-89, 2003.
- 8) 牧武志, 熊谷三千夫, 森本博昭, 鎌田敏郎：供用後 40 年経過した橋梁におけるグラウト充填状況に関する一考察, プレストレストコンクリート発展に関するシンポジウム論文集, No.13, pp.593-596, 2004.
- 9) 木村嘉富, 田中良樹：塩害に対する PC 道路橋の維持管理と設計へのフィードバック (特集 PC 構造物の高耐久化・長寿命化), プレストレスト・コンクリート, Vol.52, No.2, pp.43-48, 2010.
- 10) 阿波根庸夫, 神谷正哲, 大城芳樹, 仲村佳輝：海洋環境に位置する PC 橋の劣化, コンクリート工学, Vol.40, No.3, pp.36-42, 2002.
- 11) 津留和彦, 竹内右, 帆足博明：塩害環境下にある PC 橋への取組 (特集 メンテナンス), プレストレスト・コンクリート, Vol.45, No.1, pp.76-83, 2003.
- 12) 神田昌幸：PC 橋梁における塩害対策 (保全・補修特集 押し寄せる劣化の高波 新たなる創造(3)), 橋梁&都市, Vol.36, No.10, pp.3-18, 2000.
- 13) Jwoodward, R., and F.W., Willlams : Collapse of Ynys-y-Gwas bridge, West Glamorganm STRUCTURAL ENGINEERING GROUP Proc. Instb Civ .Engrs, Part 1, pp.635-669, 1998.
- 14) 日経コンストラクション 2000 年 6 月 23 日号：ノースカロライナスピードウェイ歩道橋の崩壊
- 15) 信濃毎日新聞：1989 年 6 月 16 日号
- 16) 若林常次, 橋本孝夫, 高龍：中央ヒンジを有する PC ラーメン橋 (矢井原橋) のアーチ部材による補強, 橋梁と基礎, Vol.43, No.7, pp.21-26, 2009.
- 17) 吉田健太郎, 前田克巳, 増田敏之：大仁高架 2 号橋のクリープ・乾燥収縮計測に基づいた免震支承の後ひずみ調整計画, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.465-470, 2002.
- 18) 肥田研一, 神野人志, 永吉竜二, 高橋洋一, 出水享：有ヒンジ PC 箱けた橋の応力解放法によるプレストレス計測と中央ヒンジ部の異常たわみ原因の推定, 土木構造・材料論文集, No.21, pp.119-128, 2005.

- 19) 土木研究所：土木研究所資料第 3512 号 橋梁の架替に関する調査結果 (Ⅲ), 平成 9 年 10 月
- 20) 岡林信行, 菅原勝彦, 福岡孝：地下空洞掘削における地山初期応力について直交異方性岩盤における初期応力計測法および解析方法, 土質工学会論文報告集, Vol.18, No.1, 1978.
- 21) International Society for Rock Mechanics, Commission on Testing Methods :Suggested Method for In Situ Stress Measurement Using The Compact Conical-ended Borehole Overcoring(CCBO), Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., Vol.36, pp.307-322, 1999.
- 22) 坂口清敏, 竹田英主, 松木浩二：下向き円錐孔底ひずみ法による原位置応力計測, Journal of the Mining and Materials Processing Institute of Japan, Vol.126, No.7, pp.418-424, 2010.
- 23) 小林昭一, 高橋徹, 吉川太, 吉田次男：改良円錐孔底法による地山応力計測, 材料, Vol.52, No.5, pp.500-504, 2003.
- 24) 浅井洋, 藤田学, Thomas Le Diouren, 宮本則幸：フラットジャッキを併用した応力解放法によるコンクリート部材の現有用作用応力計測, コンクリート工学, Vol.42, No.4, pp.26-32, 2004.
- 25) Thomas L. D., B, Bernard, and S., Jerome : Stress Measurements in Concrete and Tensioned Steel Bars and Bolts, Published and presented at STRUCTURAL ENGINEERS WORLD CONGRESS, pp.9-12, 2002.
- 26) 横山和昭, 長田光司, 室井智文, 加藤卓也：鉄筋切断法による実 PC 橋の残存プレストレス計測に関する検討, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, No.13, pp.501-504, 2004.
- 27) 加藤暢彦, 金田昌治, 園田恵一郎：コンクリート構造物の現有用作用の計測法(応力解放法)に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 5-50, pp.430-431, 1995.
- 28) 小牟禮建一, 加藤暢彦, 小川茂, 山下裕康：コンクリートの現有用作用計測法(応力解放法)に用いる 3 軸防水型ひずみゲージの開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 5-54, pp.272-273, 1999.
- 29) 室橋伸一, 山本稔, 安井将文：スリットを用いる応力解放法による覆工作用応力の計測, 土木学会年次学術講演会講演概要集第, 3-39, pp.445-446, 1984.
- 30) 野永健二, 深沢且典, 伊藤始, 佐原晴也, 関塚真, 平嶋健一：小径コアによるコンクリート部材の現有用作用計測法に関する試験研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第, 6-57, pp.431-432, 2002.
- 31) 肥田研一, 上島睦, 永吉竜二, 高橋洋一, 松田浩：削孔によるコア周辺の解放応力計測法を用いた PCT 桁橋の残存プレストレス量の計測, 土木学会第 62 回年次学術講演会, 5-61, pp.121-122, 2007.
- 32) 種健, 鈴木拓雄, 深沢且典, 清水秀樹：コンクリート構造物の現有用作用の連続的計測法, 土木学会論文集, No.735, VI-59, pp.197-202, 2003.
- 33) 野永健二：小径コアによるコンクリート部材の現有用作用計測法に関する試験研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 6- 57, pp.431-432, 2002.
- 34) 加藤暢彦：コンクリート構造物の現有用作用の計測法に関する研究, 構造工学論文集, 42A, pp. 333-340, 1996.
- 35) 二井谷教治, 渡瀬博, 阪田憲次, 綾野克紀：コンクリート部材の有効応力の計測手法に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.20, No.2, pp.27-37, 2009.

