光学的全視野ひずみ計測装置を用いた現有作用応力推定に関する基礎的研究

長崎大学大学院　学生会員　○熊本和展　長崎大学　正会員　出水享
佐賀大学　正会員　伊藤幸広　長崎大学　正会員　松田浩

1　序論

コンクリート構造物の健全度調査や補修・補強を行う際，部材に実際に生じている応力状態(現有作用応力)を把握する必要が多々ある．特にPC橋梁において，現有作用応力を正確に把握することは必要不可欠である．PC橋梁の現有作用応力を測定する方法としては，スロットストレス法やコア応力解放法等がある．いずれの手法も応力解放による解放ひずみを計測して，現有作用応力を測定する手法だが，高精度に計測できていない[1)2)]．

そのような中，筆者らは，高精度に現有作用応力を測定することを目的として，光学的全視野ひずみ計測法の一つであるデジタル画像相関法(以下DICM)を用いた応力解放法によるスリット応力解放法を開発した．本研究では，スリット応力解放法の基礎的研究を行った．

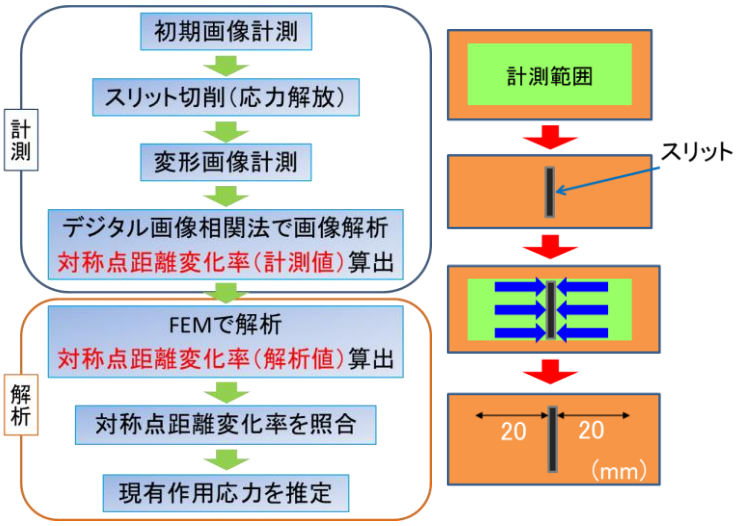
2　スリット応力解放法

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)に対して直角に深さ約20～30mmのスリットを切削し，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CCDカメラで撮影し，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．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．**図－1**にスリット応力解放法の概要図を示す．

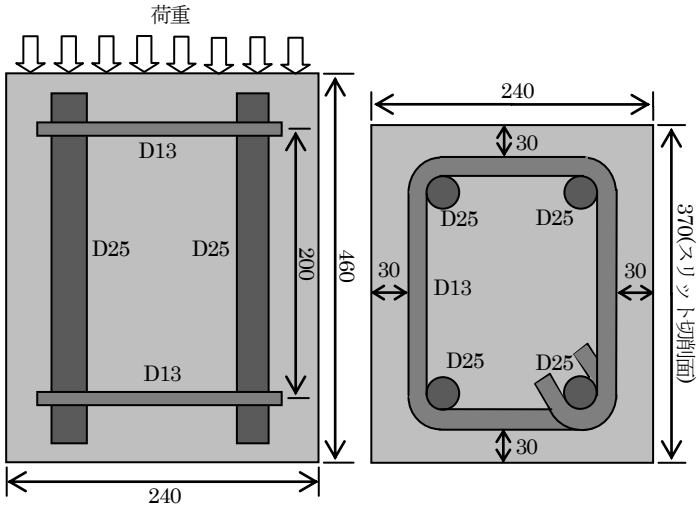
3　試験概要

スリット応力解放法の計測精度の検証を行うため，鉄筋コンクリート(以下RC)試験体を用いた試験を行った．試験体概要を**図－2**に示す．試験体の端面(上下面)の研磨仕上げの精度や圧縮試験機ヘッドのわずかな偏心によりひずみ差が生じるため，端面に石膏を塗りその上から金属板を接着することで試験体にかかる荷重が全体でほぼ同等となるよう調整した．

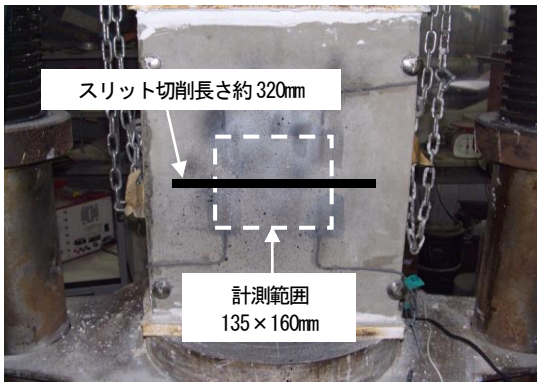
試験では，RC試験体を圧縮試験機で一軸載荷し，既定の応力に達するまで荷重を載荷させた．本試験で目標とする載荷応力は，1.0，2.0，4.0，10.0N/mm^{2}の4種類とした．既定の応力に達した後に荷重を一定に保持し，試験体中央部をコンクリートカッターにより応力作用方向に対して垂直方向にスリット切削し，応力を解放させた．スリット切削長さ及び計測範囲を**写真－1**に示す．そして，**図－1**に示す手順により作用応力を推定した．ここでは，スリット応力解放法により求めた応力値と載荷荷重から求めた応力値を比較し，精度を検証した．



図－1　スリット応力解放法概要



図－2　試験体概要(mm)



写真－1　計測範囲

キーワード：デジタル画像相関法，ひずみ計測，応力解放，現有作用応力
住所：長崎県長崎市文教町1－14　長崎大学大学院工学研究科総合工学専攻
電話，FAX：095-819-2590

CCDカメラでの撮影は**写真－2**に示すように三脚に固定して行った．計測条件は，カメラ間距離を305mm，カメラと試験体までの距離を1170mmとし，135×160mmの範囲(**写真－1**)を計測した．この計測条件下の画像解像度は0.072mm/pixelとなる．カメラのシャッタースピードは，20msとした．なお，今回は計測精度を向上させるため，初期画像と変形画像を複数枚計測し，解析時に複数枚計測した画像に加算平均処理を行い結合し，その結合画像を用いて画像解析を行った[3)]．

4 試験および解析結果

計測した対称点距離変化率分布を元に試験体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 MARC を用いて 3 次元線形 FEM 解析を行った．解析条件を**表－1**，解析モデルを**図－3** にそれぞれ示す．解析モデルは 1/4 モデルとし，主鉄筋のみのモデル化を行った．解析で使用したコンクリートの静弾性係数はコアによる試験結果である 2.42×10^4N/mm^2 を用いた．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 2.0mm と 30mm とした．

FEM 解析により逆解析して求めた 4 試験体の内，目標載荷応力が 1.0 N/mm^2 のときの対称点距離変化率分布(解析値)を**図－4** に示す．また，スリット切削前後の画像から DICM によって解析した対称点距離変化率分布(計測値)も合わせて示す．これから，解析値と計測値はほぼ一致していることが確認できる．

推定結果一覧を**表－2** に示す．表より，4 試験体全てにおいて高精度に作用応力を推定できることが確認できた．また，差異は全試験体においてほぼ同じ値を示した．差異があるのは，試験体断面の中央部に均一に応力が作用されていなかったことや乾燥収縮などの影響だと考えられる．

5 結論

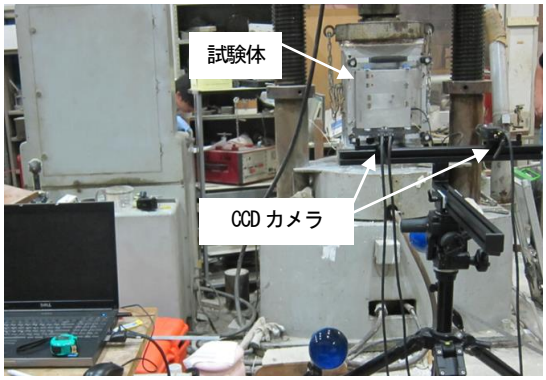
本研究では，CCD カメラによる光学的全視野計測法の一つである DICM を用いた応力解放法による現有作用応力推定に関する基礎的研究を行った．DICM と応力解放法を用いて対称点距離変化率を算出することで，高精度に解放ひずみを計測することができた．また，低応力域においても高精度に計測できることが確認できた．今後は，曲率がある試験体に対する現有作用応力計測を行うともに，実構造物へ適用していく予定である．

参考文献

1)浅井洋ほか：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作用応力測定，コンクリート工学，Vol.42，No.4(2004)，pp.26-32

2)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測定法を用いたPCT桁橋の残存プレストレス量の推定，土木学会第62回年次学術講演会(2007)，5-061，pp.121-122

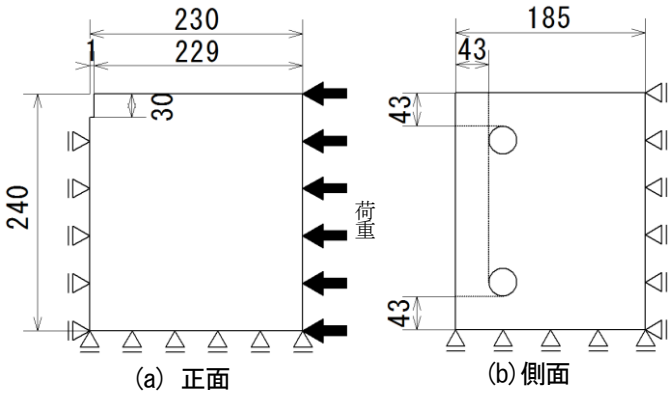
3) 出水享，板井達志，藤野義裕，山下務，松田浩：撮影・解析条件がデジタル画像相関法のひずみ計測精度に及ぼす影響，長崎大学工学部研究報告(2011)，41(77)，pp.45-52



写真－2 計測状況

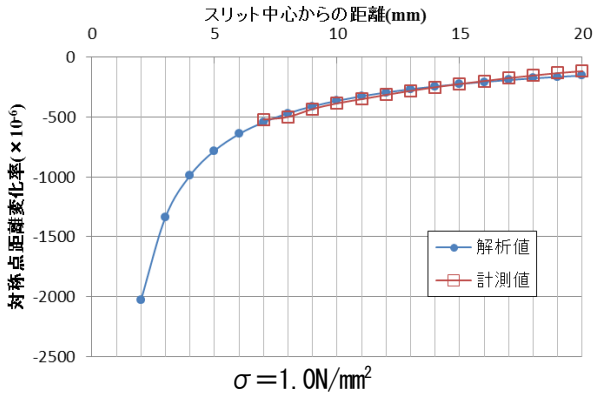
表－1 解析条件

解析タイプ		3 次元線形 FEM 解析	
モデル		1/4 モデル	
要素タイプ		8 節点ソリッド要素	
材料定数	コンクリート	静弾性係数 (N/mm^2)	2.42×10^4
		ポアソン比 ν	0.18
	鉄筋	静弾性係数 (N/mm^2)	2.0×10^5
		ポアソン比	0.3



(a) 正面 (b) 側面

図－3 解析モデル(1/4 モデル)



図－4 対称点距離変化率分布

表－2 推定結果一覧(N/mm^2)

目標載荷応力	1.00	2.00	4.00	10.00
載荷応力	1.00	2.00	4.00	9.64
作用応力	1.27	1.74	3.69	9.76
差異	**0.27**	**0.26**	**0.31**	**0.12**