

スリット応力解放法の紹介

橋計測リサーチコンサルタント 高橋 洋一

スリット応力解放法とは

- ・主に、PC桁等の一次応力場における現有応力を測定する技術。
- ・応力解放法は、岩盤内に作用している応力を測定する技術として実績が多数あり、多くは、コアリングにより実施。
これをPC構造物に適用。
コアリングをスリットに変更

PC構造物の現有応力を測定するスリット応力解放法の開発

1. 背景および技術の概要

老朽化、損傷を受けた構造物の安全確保および維持管理費の縮減

PC構造物の現有応力を測定し、劣化・損傷状況を正確に把握する診断技術の開発

スリット応力解放法

PC 構造物の応力測定箇所へスリットを切削し、応力解放した際のひずみを光学的全視野ひずみ計測装置により測定し、現有応力を算出するという世界初の技術

2. スリット応力解放法の特徴

- ★ 新規開発した光学的全視野ひずみ計測装置による解放ひずみの高精度測定
- ★ PC構造物の解放ひずみ測定のための合理的な切削方法の適用
- ★ 2点間距離変化率という解放ひずみの新しい評価法
- ★ 現有応力を推定するためのFEMモデルを用いた解析手法

4つの技術の結合により、従来法と比較して測定精度や作業性において優れた診断技術を実現した

3. 社会的意義および発展性

- 国・自治体が進める橋梁を中心とした道路ネットワークの安全性の確保に貢献できる。正確な劣化・損傷データの蓄積により、予防保全に基づく構造物の維持修繕費用の縮減に寄与する。
- 新産業創出の市場や輸出品としてインフラの維持管理・点検技術に注目が集まっている。平成27年11月には、FHWA (Federal Highway Administration: 米国連邦道路庁) のワシントン本部において、スリット応力解放法の技術説明およびデモンストレーションを行った。

PC橋の残存プレストレス量の測定方法



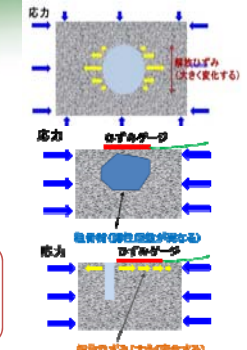
橋梁のPC鋼線の破断

コア応力解放法
 コア削孔する前後のコア周辺部の解放ひずみをひずみゲージで計測し、計測した解放ひずみより現有応力を推定する方法

コア応力解放法の問題点

ひずみゲージ計測の問題

- 問題点①
 応力が卓越する方向がある場合、コア切削では円周方向の解放ひずみの変化率が大きく解放ひずみの評価が難しい。
- 問題点②
 セメントと骨材は弾性係数が異なるため表面付近の粗骨材が存在すると計測されたひずみ値に誤差を多く含む。
- 問題点③
 ひずみゲージの計測値は1点1方向の平均ひずみであるため切削溝周辺部の変化する解放ひずみを正確に計測することができない。



全視野ひずみ計測装置を用いたスリット応力解放法

ひずみゲージ計測の問題

- ・表面付近の粗骨材の影響
- ・配線や計測器設置の問題
- ・切削溝周辺部における大きな解放ひずみを正確に計測できない

解決手段

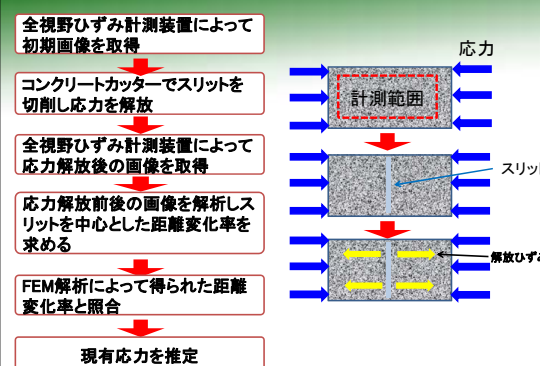
↓

ラインセンサスキャナタイプ全視野ひずみ計測装置

〔特徴〕

- ・撮影画像内の任意の位置でひずみの多点計測が可能
- ・ひずみ計測精度が高い
- ・削孔時には計測装置を取り外すことができ、配線の問題が無い

現有応力推定フロー



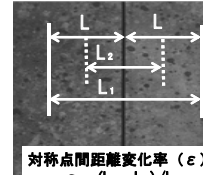
- 全視野ひずみ計測装置によって初期画像を取得
- コンクリートカッターでスリットを切削し応力を解放
- 全視野ひずみ計測装置によって応力解放後の画像を取得
- 応力解放前後の画像を解析しスリットを中心とした距離変化率を求める
- FEM解析によって得られた距離変化率と照合
- 現有応力を推定

対象点間距離変化率の概要

●スリット応力解放法

切削するスリットの周辺部を全視野ひずみ計測装置で計測し、取得した画像よりひずみ(対称点間距離変化率)求め、FEM解析によって現有応力を推定する方法。

対称点間距離変化率とは、スリットの両側に標点を設定し、スリット切削前後の標点間の距離の変化率



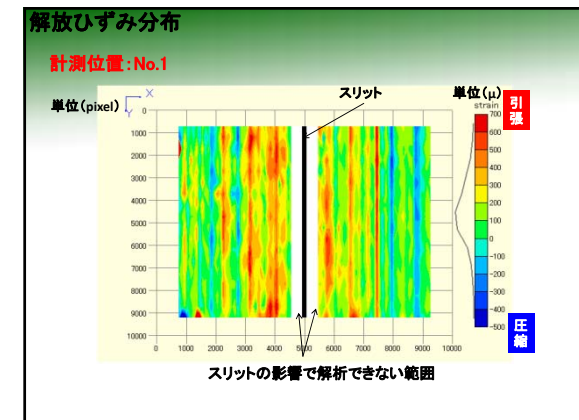
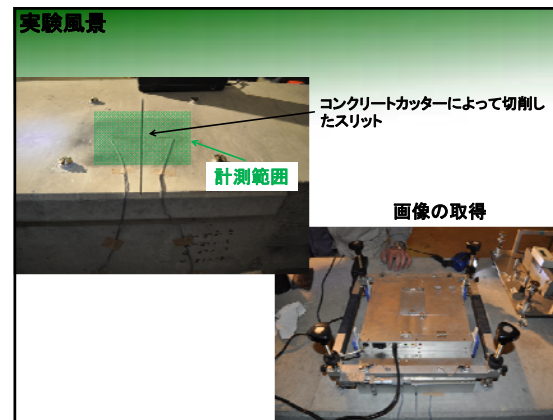
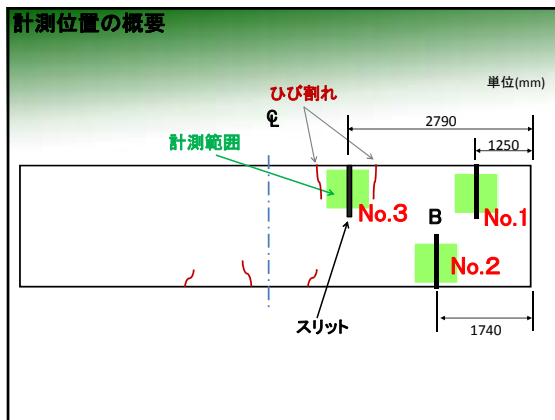
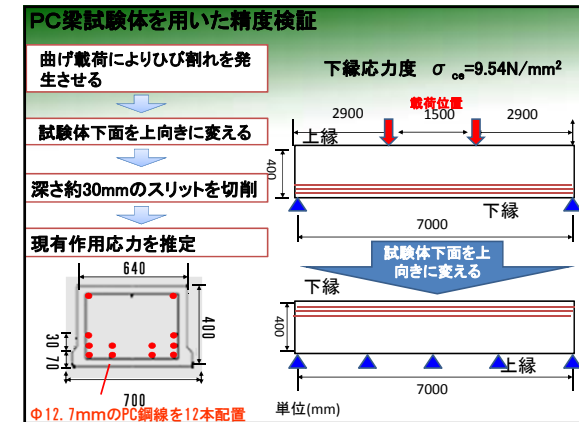
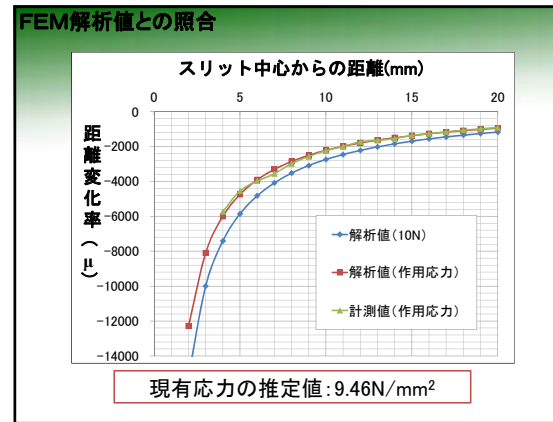
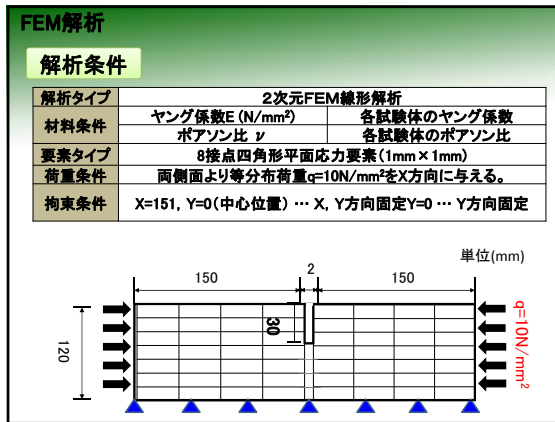
対称点間距離変化率 (ϵ)
 $\epsilon = (L_1 - L_2) / L_1$

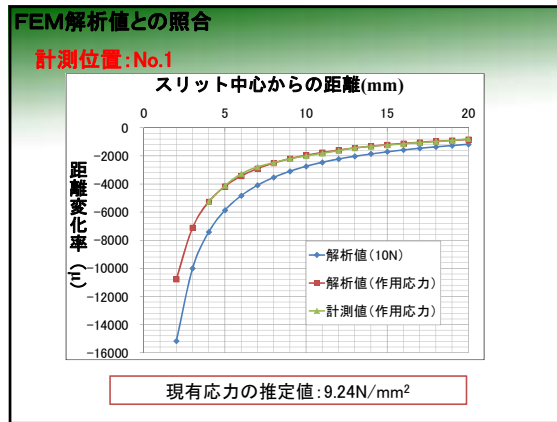
計測作業手順



(a)鉄筋探査 (b)平滑化 (c)固定金具設置

(d)画像撮影 (初期画像) (e)スリット切削 (f)画像撮影 (変形画像)



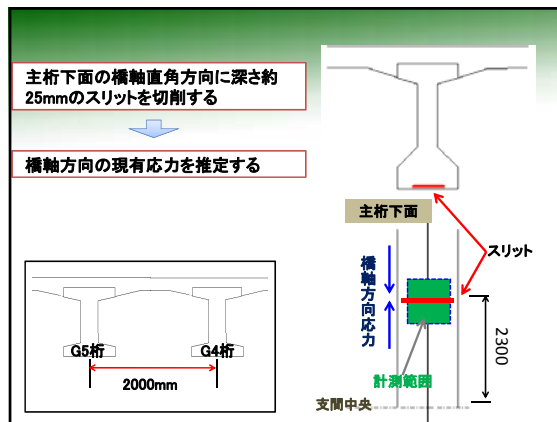


現有作用応力の推定結果

項目	No.1	No.2	No.3
下縁応力度設計値 (N/mm ²)	9.54		
現有応力推定値 (N/mm ²)	9.24	9.59	6.13
誤差 (N/mm ²)	-0.30	0.05	-3.41
誤差 (%)	-3	0.5	-36

計測位置No.3はひび割れによって応力が再配分され、減少したものと考えられる

平均誤差 (No.3を含まない) -0.12N/mm²



現有応力の推定結果

項目	G4桁	G5桁
主桁下縁応力度 (N/mm ²)	4.11	
現有応力推定値 (N/mm ²)	3.49	4.71
誤差 (N/mm ²)	-0.62	0.60
設計プレストレス (N/mm ²)	13.56	
推定プレストレス (N/mm ²)	12.94	14.16

平均誤差 (下縁応力度) -0.01N/mm²

ASRによりひび割れが生じている桁でも、プレストレスが十分に残存していることが確認された。




PCアーチ橋:
大分県

1989年の竣工当時は、日本最長のアーチ支間(235.0m)を有するコンクリートアーチ橋、応力解放法10箇所以上実施した



中央ヒンジ橋:
長野県

橋長180mのPC3径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋、中央ヒンジの異常たわみの原因究明のため応力解放法を実施した

配水PCタンク:
大分県

PCタンクの補強設計のため、円周方向の作用応力を計測

FHWAにてデモンストレーション



米国連邦道路庁内の撤去桁:

米国国家機関の一つであるFederal Highway Administration(米国連邦道路庁)において、技術説明およびデモンストレーションを行った

現場実績 橋梁:25橋(応力測定24橋, 緊張管理1橋)
PCタンク:1基
ロックシェッド:1施設
配水機場:1施設

※計測点数:100箇所以上

第18回国土技術開発賞 創意開発技術賞受賞

一般財団法人国土技術研究センターと一般財団法人沿岸技術研究センターが主催する第18回国土技術開発賞において、スリット応力解放法が創意開発技術賞を受賞した。スリット応力解放法は、国・自治体が進める橋梁を中心とした道路ネットワークの安全性の確保に貢献でき、予防保全に基づくインフラのライフサイクルコストの縮減に寄与することから社会的意義が高いとの評価を受けた。平成28年7月28日(火)東京国際フォーラムにおいて、石井国土交通大臣より表彰状並びに副賞が授与された。



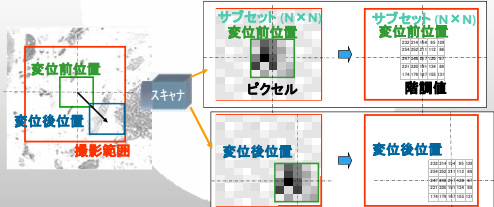


NETIS登録:スリット応力解放法CG-160009-A

デジタル画像相関法の説明

解析方法

デジタル画像相関法によるひずみ解析法の概要



変位前の濃淡画像のサブセット内の階調値を数値化

サブセット内の各数値の相関が最も高くなる画素位置を比較画像から求め、移動画素量を求める

標点間の移動画素量(サブピクセル単位)からひずみを求める

解析方法 説明

DICMIは、測定対象物表面模様ランダム性を基にして、変形前後の計測対象物をCCDカメラやCMOSカメラなどのデジタルカメラで撮影したデジタル画像を用い、解析することで、計測範囲全体にわたって表面変位量と方向を計測する手法です。この手法の特徴としては、測定空間のゆらぎには比較的強いこと、測定に際しては、対象物の画像を撮影するのみという簡単な手法であること、測定対象物の亀裂を高精度・非接触に計測できることが挙げられます。また、計測システムは、ノートPCとカメラのみと軽量、簡易であるため実現場に持ち運びが容易となり、計測のセッティングが容易なこともその特徴の一つと言えます。

● 標点

■ ゲージ

→ 変形前標点間距離

→ 変形後標点間距離

ゲージ上の解析位置 画素移動によるひずみ計算方法

面内変位を求める相関計算式

- 粗探査(計測精度はピクセル単位)

$$C(X+u, Y+v) = \sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M |I_u(X+u+i, Y+v+j) - I_0(X+i, Y+j)|$$

Id: 変形前階調値
Iu: 変形後階調値

- 精密探査(計測精度はサブピクセル単位)

$$C(X+u, Y+v) = 1 - \frac{\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M (I_u(X+u+i, Y+v+j) \times I_0(X+i, Y+j))}{\left(\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_u(X+u+i, Y+v+j) \right)^2 \times \left(\sum_{i=-M}^M \sum_{j=-M}^M I_0(X+i, Y+j) \right)^2}$$

N=2M+1, Cは相関関数、I(X,Y)は画素の(X,Y)点での強度である。u、vはそれぞれx、y方向の移動画素量である。x、y方向に任意に1画素毎移動させながら、相関関数を計算する。Cの値の最も小さい位置が、最近接画素点となる。

主ひずみの計算式

最大せん断ひずみ $\gamma_{\max} = \sqrt{2 \{ (\epsilon_x - \epsilon_y)^2 + (\epsilon_{xy})^2 \}}$

最大主ひずみ $\epsilon_1 = \frac{1}{2} (\epsilon_x + \epsilon_y + \gamma_{\max})$

最小主ひずみ $\epsilon_2 = \frac{1}{2} (\epsilon_x + \epsilon_y - \gamma_{\max})$

主ひずみ方向 $\phi_p = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left\{ \frac{2\epsilon_{xy} - (\epsilon_1 + \epsilon_2)}{\epsilon_x - \epsilon_y} \right\}$