

デジタル画像相関法による変形計測に基づいた RC 造耐震壁の構造性能評価

Structural Performance Evaluation of RC Wall Based on Deformation Measurement by Digital Image Correlation Method

性能制御システム学研究室 井出 彩葉

Structural Performance Control System Laboratory Ayaha IDE

1 はじめに

本研究室では耐震壁の静的載荷実験を行い、損傷と各構造性能低下の関係についての検討を進めてきた。従来の構造実験においては各計測項目に応じて変位計、歪ゲージ等を使用して計測を行ってきたが、別の方法を用いてより詳細なデータを得ることができれば、さらに実験結果の精度が高まり、これまでに得られなかった情報が得る可能性が考えられる。そこで本研究では、カメラで撮影した画像をもとに変形を求めることができる、デジタル画像相関法(Digital Image Correlation:以下DIC)を用いて測機器の設置箇所によらず高精度なデータを取得する可能性を検討し、得られたデータを用いたRC造耐震壁の構造性能評価手法を検討することを目的とする。

本研究では、耐震補強の有無を変数とした耐震壁実験と事前損傷の有無と程度を変数とした耐震壁実験の2シリーズを対象としたが、紙面の関係で後者の実験結果のみを示す。

2 せん断破壊先行型直交壁付き耐震壁の実験

2.1 実験概要

検討対象とする試験体は、原子力発電所建屋を模擬した直交壁を有するH形平面の耐震壁とする。表1に試験体諸元、図1に試験体配筋図と加力における反曲点位置を示す。

2.2 DIC 計測計画

図2にDICの概要を示す。DICでは試験体の計測面にランダムパターン(スペckル)を施し、図2で赤く囲った、サブセットという複数の画素からなる計算領域の変形後の位置を輝度値分布の相関を用いて求め、計測を行う。図3に本実験で用いたDICの設置詳細を示す。

2.3 実験結果

図4に荷重-変形関係、図5に最終破壊時のひび割れ図とDICによる押切ピーク時の斜め方向歪分布図を示す。0.25/1000rad.サイクル時にひび割れが発生し、3/1000rad.サイクル付近で壁全体に広がった。6/1000rad.サイクルで最大耐力1564kNを迎え壁板のすべり破壊により終局を迎えた。

表1 試験体諸元

試験体記号		SF-13-D0	
壁	高さ	mm	1000
	全長	mm	1800
	壁厚	mm	120
	縦筋/横筋		D6@40(SD295) Double
	鉄筋比	%	1.32
せん断スパン比			0.29
柱/直交壁	断面	mm ²	120×600
	主筋/縦筋		D6@40(SD295) Double
	帯筋/横筋		D6@40(SD295) Double
スタブ	断面	mm	600×400
	主筋		10-D22(SD390)
	肋筋		2-D13(SD390)@100
Fc		N/mm ²	27

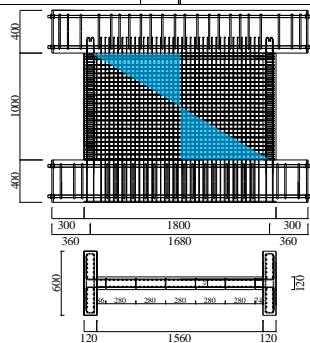


図1 試験体配筋図

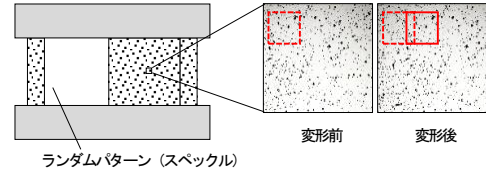


図2 DICの概要

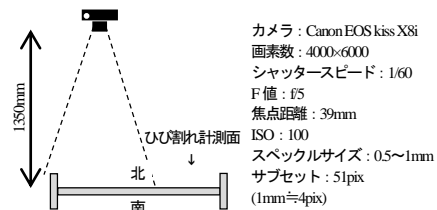


図3 DIC設置詳細

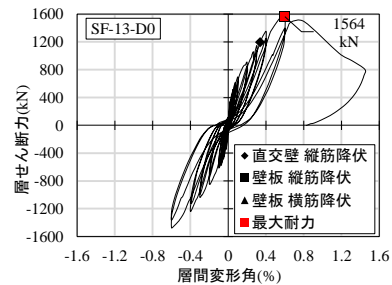


図4 荷重-変形関係

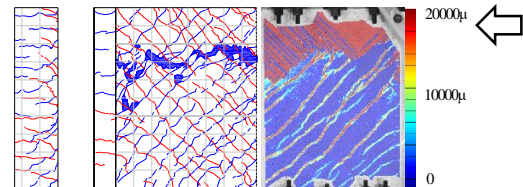


図5 最終破壊時ひび割れ図(右)、歪分布図(左)

3 従来型測定方法とDICによる計測値の比較

図6に示す位置の各加力サイクルピーク時のDICによる変形と変位計による変形の比較結果を示す。1/1000rad.以降はDICによる測定値の方が少し大きくなる結果となったが、測定値の比の平均値は1.04となり、DICによる変形と変位計による変形はおおむね一致した。

同様に、図7に示す位置の各ピーク時の歪ゲージによる壁筋の歪度計測値とDICによるコンクリート表面歪度の比較結果を示す。測定位置が異なるため歪ゲージの値は負載荷時、DICは正載荷時の値を用いた。DICではひび割れ等による影響を大きく受ける試験体表面の歪を測定するため、歪ゲージと同様の範囲(計測幅×計測方向=1mm×2mm)ではなく歪ゲージ貼り付け位置を中心とした100mm×200mmの範囲での計測値を使用した。傾向は同様であったが、数値はあまり合わない結果となった。これは、歪ゲージの計測対象が鉄筋の歪であるのに対し、DICではコンクリート表面の歪を計測していることが原因だと考えられる。

図8に各サイクルのピーク時における、クラックスケールを用いた目視による壁板最大ひび割れ幅の観測値とDICによる計測値の比較を示す。比較にあたっては、DICのひずみ分布より、局所的にひずみが大きくなっている部分(=ひび割れ箇所)を跨ぐように2点を決定し、その箇所の変位を測定することで、DICの計測値とした。おおむね同様の値を示したが、DICの方がやや大きくなる傾向を示した。これは、DICではひび割れ周辺のコンクリートの伸び縮みを考慮していないことが理由として考えられる。

4 DICを用いたRC造耐震壁の構造性能評価

DICにより変形やひずみ度が従来の計測と同程度の精度で計測できることが確認できたため、DICによる壁板のひずみ分布を用いて耐震壁のせん断抵抗機構である圧縮ストラット幅を算定した。図9に示す方向に加力した場合、破線で示す対角方向に圧縮ストラットが形成されると考えられる。壁板中心を均等な幅の区間に分け(今回は4区間)、それぞれの区間を圧縮ストラット角度方向に等分し、それぞれの小領域で矢印の方向の歪度をDICの解析データより求める。例として区域③を用いて説明する。実験では図3に示したようにDICの計測は片面のみで行っているため、実際に得られる情報は図9では右側のみとなるが、加力方法を考慮し、左右点対称と仮定することによって区域③の歪が得られる。コンクリート材料試験で得られた応力-歪関係より、各歪度における応力を求め、各区間の各要素の応力度分布から全負担圧縮力を求め、最大圧縮 $\sigma_{max,3}$ で一定と仮定した矩形分布の幅を等価な圧縮応力度幅 W_3 とした。算出した各区域の幅 $W_1 \sim W_4$ の平均値を算出することで圧縮ストラット幅 W とする。図10に各層間変形角時における圧縮ストラット幅 W の算定結果を示す。小変形時(層間変形角0.025%~0.075%)にはやや安定しない結果となったが、層間変形角0.1%以降は800mm付近を示した。

上記により算出した圧縮ストラット幅から図9右に示す式を用い、各層間変形角時の層せん断力を求め、実験値と比較した。使用する応力度については各区域において算出した σ_{Maxi} の平均値 σ_{Max} を用いたが、損傷が進むと、圧縮破壊は通常の圧縮試験での強度 σ_B より小さな応力度で生じると考えられる。靱性指針の圧縮強度有効係数 ν を乗じ低減させた値を用いることを考えたが、今回は表面のコンクリートの歪から応力度を決定しているため、鉄筋が考慮されていない。そこで、低減を行わない $\nu=1.00$ と、低減を行った $\nu=0.55$ の場合の応力度を用いて層せん断力 Q を求め、実験値との比較を行った結果を図11に示す。小さい変形角では計算値両方が実験値を下回るという結果になったが、圧縮ストラット幅が安定してくる層間変形角0.1%以降は実験値が低減を行わない場合と低減を行った場合の応力度を用いた計算値の中間となった。これより、壁板の応力度は $\nu=1.00$ と $\nu=0.55$ の中間で低減した値であることが予想でき、圧縮ストラット幅が比較的精度よく計算できていることがわかる。

5 まとめ

せん断壁に対する静的載荷実験の結果からDICと従来型測定方法との比較を行い、変位計、ひび割れ幅に対しては、DICの有用性がおおむね確認できた。歪ゲージに対しては、計測対象が異なり、数値は合わない結果となった。また、DICの解析結果を用いて圧縮ストラット幅の計算方法を提案した。層せん断力との釣り合いから検討すると、提案した手法では比較的精度よく計算できていることが確認された。しかし、今回提案した圧縮ストラット幅の算定手法では、鉄筋を考慮しなかったことにより、圧縮ストラット応力度の実際の値がわからないままであった。鉄筋を考慮した算定手法やDICを用いた別の構造性能評価手法の検討等が今後の課題として挙げられる。

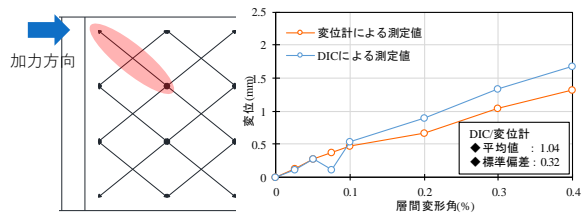


図6 DICと変位計による変位測定値比較

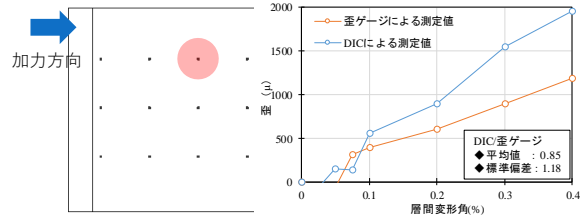


図7 DICと歪ゲージによる歪度測定値比較

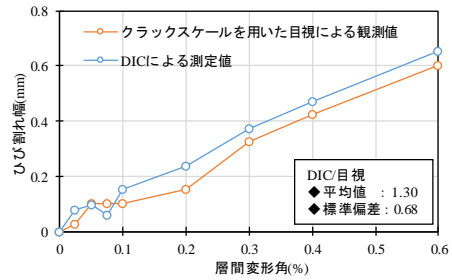


図8 DICと目視によるひび割れ幅比較

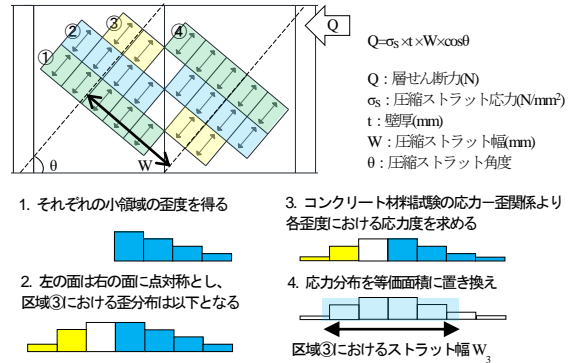


図9 圧縮ストラット幅算定方法

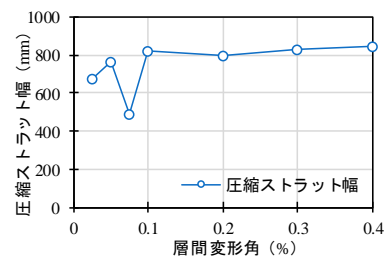


図10 DICによる圧縮ストラット幅Wの算定結果

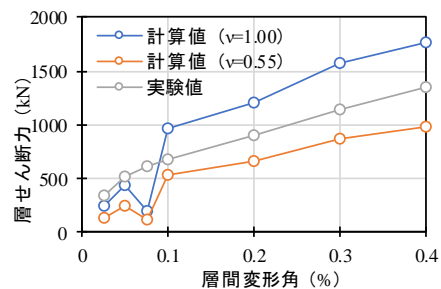


図11 実験値と計算値による層せん断力

[参考文献]

- 1) 半沢守 損傷を受けたRC造耐震壁の構造性能に対して壁筋比が及ぼす影響の検討 (2016年卒業論文)