

残留ひび割れ幅に基づく鉄筋コンクリート構造物の地震応答変位の推定

電力中央研究所	正会員	○宮川	義範
電力中央研究所	正会員	松村	卓郎
関西電力	正会員	堀江	正人
関西電力	正会員	岩森	暁如

1. はじめに

鉄筋コンクリート製地中構造物に関して、地震後の点検結果から構造安全性を評価する方法を作成するために実施した研究の一部を報告する。

2. 実験概要

片持ち梁7体、逆対称曲げ部材7体、計14体のせん断補強筋の無い鉄筋コンクリート部材試験体に対して、静的に正負の繰返し水平荷重を与えた。各サイクルの最大変位時点とそこからの除荷を終えた時点で、試験体正面（地中ダクトの断面に相当する）の写真撮影を行い、二次元画像計測を行った。試験体の詳細については前報¹⁾を参照されたい。

3. 地震応答変位の推定方法

残留状態が、最大変位を経験したあと除荷された状態でなく、反転载荷を受けた場合であっても適用できる方法を作成するため、実験データの中から鉛直変位の残留に着目する。図1(a)は、正負交番载荷の各折返し点から変位がゼロの状態まで戻したときの鉛直変位と、折返し点における鉛直変位との比を表している。変位ゼロの点は、部材が終局を迎える以前の段階では、上記の比が最小に近い点と考えている。これを ζ と置く。

$$\zeta = \frac{\Delta_v^0}{\Delta_v^{ex}} \leq \frac{\Delta_v^r}{\Delta_v^{ex}} \quad (1)$$

ここで、 Δ_v^{ex} ：経験最大鉛直変位

Δ_v^0 ：最大変位の状態から変形角ゼロの状態に移行したときの鉛直変位

Δ_v^r ：点検時点の鉛直変位

図1(a)を見ると、 $\pm 1\%$ 以内の区間ではいずれの試験体も ζ 値の変動が小さく、それを超える区間では漸増する傾向にある。軸力比（軸応力／コンクリート圧縮強度比）0.05の圧縮を受けているNo.12が相対的に小さな値を、軸力比0.05の引張を受けているNo.14が大きな値をそれぞれ示し、軸力の作用していない他の試験体が両者の中間に位置している。(b)図に別のデータを示して補足する。これは、1層1連ボックスカルバートを対象とした既往実験²⁾の結果を(a)図と同じ要領で整理したものである。軸力比0.05相当の圧縮軸力が与えられている。ここでも、 $\pm 1.0\%$ を超える領域における ζ 値の漸増傾向が認められる。そこで、評価用の ζ 値を以下の式で定める。

$$\zeta_0 = 0.438 - 4.60 \frac{\sigma_0}{f_c} \quad (2)$$

$$\zeta = \begin{cases} \zeta_0 & (R^{ex} \leq 0.01) \\ \zeta_0 + 11.4(R^{ex} - 0.01) & (R^{ex} > 0.01) \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 σ_0/f_c ：軸力比

R^{ex} ：経験最大変形角[rad]

これを踏まえ、図2の逆対称曲げ部材を例に取って、地震時最大変形角の推定方法を作成する。まず、左上、右

キーワード 鉄筋コンクリート、ひび割れ、損傷、点検、地震応答

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所 TEL 04-7182-1181

上、左下、右下の各部分の残留ひび割れ幅合計（複数のひび割れ幅の合算値）から以下のように残留鉛直変位を求める。

$$\Delta_v^r = \frac{W_{lh}^r + W_{rh}^r}{2} + \frac{W_{ll}^r + W_{rl}^r}{2} \quad (4)$$

ここで、 W^r ：残留ひび割れ幅合計。サ
フィックス lh, rh, ll, rl はそれぞれ
左上、右上、左下、右下を表す

次に、(1)式から地震時最大鉛直変位の上
限值 $\bar{\Delta}_v^{ex}$ を求める。最大変位を経験してい
る状態において、圧縮縁ではひび割れが
閉じていると仮定すると、図2の幾何学
的關係から、 $\bar{\Delta}_v^{ex}$ は上下いずれか一方の引
張縁の地震時最大ひび割れ幅合計 W^{ex} に
等しいと考えられる。これを部材厚で除
して地震時最大変形角を得る。

$$R^{ex} \leq \frac{\bar{\Delta}_v^{ex}}{d} = \frac{\Delta_v^r}{\zeta d} \quad (5)$$

ここで、 d ：部材厚

(3)、(5)式を整理すると、次のようにまとめられる。

$$R^{ex} \leq \min \left\{ \frac{\Delta_v^r}{\zeta_0 d}, -\frac{\zeta_0 - 0.114}{22.8} + \sqrt{\left(\frac{\zeta_0 - 0.114}{22.8} \right)^2 + \frac{\Delta_v^r}{11.4d}} \right\} \quad (6)$$

画像計測で得られた除荷時点における左上、右上、左下、右下の各表面
の相対鉛直変位を残留ひび割れ幅合計とみなし、上記の方法で推定した
変形角と、水平変位の直接計測による値とを比較した結果が図3である。
変形角 1%強までの領域における推定精度は良好で、それ以降の領域でや
や大きめの推定結果を与えている。点検結果を基に地震応答を推定する
場合、大きめの評価を与えるのは安全側である。

4. まとめ

地震後の点検で得られる残留ひび割れ幅から地震時の最大応答変位を推定する方法を作成した。今回の試験
体群は、別途せん断破壊の様子を捉える意図もあったことから、いずれも曲げ降伏後せん断破壊モードを呈す
よう設計されており、全般的に変形性能に富んでいない。今後、提案法の適用性を高靱性のケースについて
検証する。

謝辞

本研究は、電力9社と日本原子力発電（株）、電源開発（株）、日本原燃（株）による電力共通研究として実
施した。関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 宮川義範, 松村卓郎, 堀江正人, 岩森暁如：せん断破壊する鉄筋コンクリート部材の局所変形の増大およ
び衝撃弾性波の周波数特性, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, pp. 193-194, 2010.
- 2) 宮川義範：鉄筋コンクリート製ボックスカルバートのせん断照査における繰返し荷重を考慮した安全係数
の検討, 電力中央研究所研究報告 N05008, 2005.

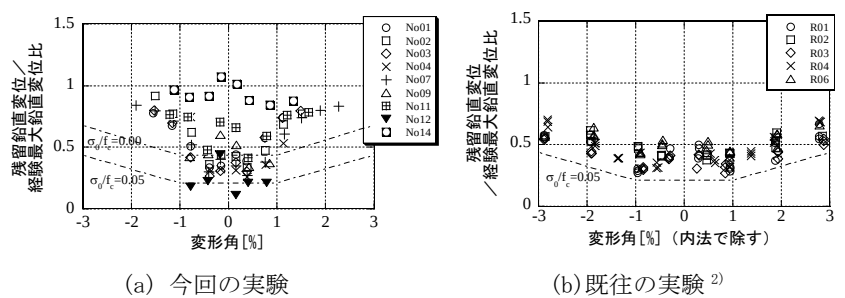


図1 経験最大変形角と鉛直変位の関係

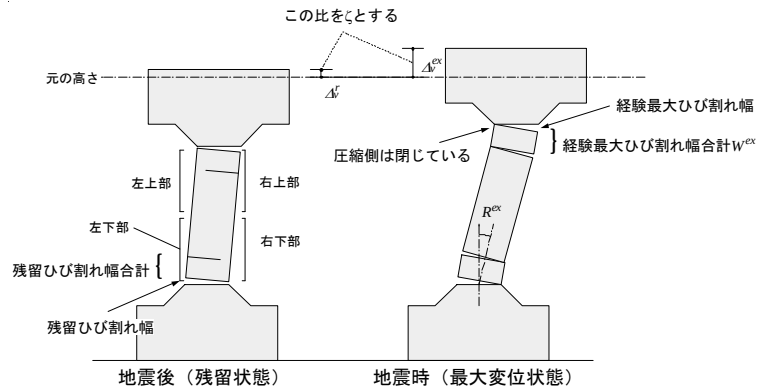


図2 最大変位状態と残留状態

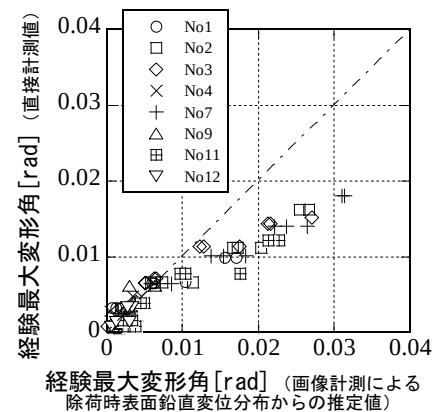


図3 経験最大変形角の推定精度