

離散化極限解析法によるSRC造建物の地震被害の解析—その3—

正会員 ○田中 里子*
同 土井 希祐**

充腹形 SRC 造建物 離散化極限解析法 地震被害
弾塑性静解析 弾塑性地震応答解析

1. 研究目的

兵庫県南部地震において、旧基準により設計された格子形 SRC 造を中心とする多くの SRC 造建物が被害を受けた。これまで SRC 造建物は耐震性に対する信頼度が高かっただけに大きな課題を残した。今後起こりうる地震に対処するためには、被害原因の解明とそれを可能とする有効な解析法の確立が必要である。

既報¹⁾では離散化極限解析法を用いて、兵庫県南部地震において被災した格子形 SRC 造建物について地震時挙動の解析を行い、ある程度実被害に対応する解析結果を得ることができた。本研究では同じく被災した充腹形 SRC 造建物について同解析法による解析を行い、解析法の一般性の確認及び有効なモデル化手法の提案を目的とする。

2. 研究方法

2.1 離散化極限解析法

離散化極限解析法²⁾³⁾とは図-1のように構造体を有限個の剛体ブロックに分割し、塑性関節を一般化したバネ要素で連結してモデル化するものである。本解析で用いたラーメン架構モデルは、柱・梁要素と接合部要素をバネで連結したものである。

一般的な離散化極限解析法の理論では、バネ剛性マトリックスは、柱・梁要素と接合部要素の2剛体要素間の相対変位 $\{\delta\}$ を用いて作成される。 $\{\delta\}$ は式(1)のように要素の重心位置における絶対変位 $\{u_G\}$ で表せる。しかし、骨組構造の解析を行う場合には図-2のように節点変位ベクトルを重心ではなく、はり要素両端でとる方が便利であり、式(2)のように座標変換を行う。式(3)にはり要素両端の節点変位ベクトル $\{u\} = \{u_0 \ u_{1L} \ u_{1R} \ u_2\}^T$ を用いた剛性マトリックスを示す。バネは垂直(バネ定数 K_n)・せん断(K_s)・曲げ(K_m)の3種を考え、それぞれに図-3に示す降伏曲面が設定されており、バネの降伏判定により建物の地震時挙動について検討する。降伏曲面内で弾性、降伏曲面上で降伏し塑性となる。バネの一軸応力・歪関係は完全弾塑性とする。降伏条件式は式(4)を適用する⁴⁾。式(4)および図-3における $N_c \cdot N_t \cdot N_o \cdot Q_{mu} \cdot Q_{su}$ は、文献5)による充腹形 SRC 柱の場合の終局耐力式に基づいて定めた。また、塑性時の材料マトリックス $[D]^p$ は式(5)のようになる。剛性マトリックス $[K]$ は式(6)で求まる。

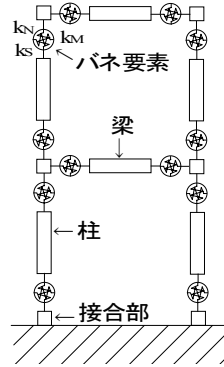


図-1 ラーメン架構モデル

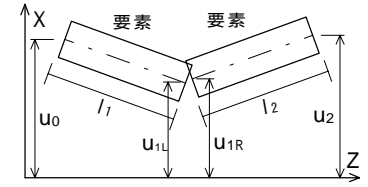


図-2 剛体はり要素における節点変位

$$\{\delta\} = [B]\{u_G\} \quad (1)$$

$$\{u_G\} = [T]\{u\} \quad (2)$$

$$\begin{Bmatrix} X_0 \\ X_{1L} \\ X_{1R} \\ X_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{K_{15}}{l_1^2} & -\frac{K_{15}}{l_1^2} & -\frac{K_{15}}{l_1 l_2} & \frac{K_{15}}{l_1 l_2} \\ K_1 + \frac{K_{15}}{l_1^2} & -K_1 + \frac{K_{15}}{l_1 l_2} & -\frac{K_{15}}{l_1 l_2} & \frac{K_{15}}{l_1 l_2} \\ \frac{3}{4}K_1 + \frac{K_{15}}{l_2^2} + \frac{l_1^2}{4l_2^2}K_1 & \frac{K_1}{4} - \frac{K_{15}}{l_2^2} - \frac{l_1^2}{4l_2^2}K_1 & \frac{K_{15}}{4l_2^2} & -\frac{K_{15}}{4l_2^2} \\ \text{sym.} & & & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_0 \\ u_{1L} \\ u_{1R} \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$K_1 = \frac{2GA}{l_1 + l_2}$ $K_{15} = \frac{2EI_{xx}}{l_1 + l_2}$ G : せん断弾性係数 A : はり要素の断面積
 E : 弾性係数 l_1, l_2 : 要素長さ
 I_{xx} : はり要素の断面2次モーメント

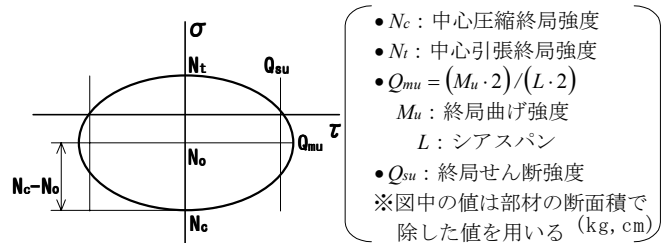


図-3 バネ要素降伏曲面

$$f = \left(\frac{\tau}{Q_{mu}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma + N_o}{N_c - N_o}\right)^2 - 1 \quad (4)$$

$$[D]^p = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ & k_{22} & k_{23} \\ \text{sym.} & & k_{33} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[K] = \iint [B]^T [D]^p [B] ds \quad (6)$$

$$\begin{Bmatrix} k_{11} = k_n - \frac{1}{F} \left(\frac{2(\sigma - N_o)}{(N_c - N_o)^2}\right)^2 \cdot k_n^2 & k_n = 2EA/l \\ k_{22} = k_s & k_{12} = k_{23} = 0 & k_s = 2\alpha GA/l \\ k_{13} = \left(\frac{2(\sigma - N_o)}{(N_c - N_o)^2}\right) \left(\frac{2\tau}{Q_{mu}^2}\right) \cdot k_n \cdot k_m & k_m = 2EI/l \\ k_{33} = k_m - \frac{1}{F} \left(\frac{2\tau}{Q_{mu}^2}\right)^2 \cdot k_m^2 & F = \left(\frac{2(\sigma - N_o)}{(N_c - N_o)^2}\right)^2 \cdot k_n + \left(\frac{2\tau}{Q_{mu}^2}\right)^2 \cdot k_m \end{Bmatrix}$$

α : はり要素の有効せん断係数
 $l = l_1 + l_2$

2.2 解析対象建物の概要

神戸市兵庫区に位置する 1975 年建設の地上 11 階充腹形 SRC 造耐震壁付ラーメン構造の集合住宅であり (図-4、図-5 参照)、1 階から 6 階柱脚までが SRC 造、6 階柱頭以上が RC 造である。東棟・西棟・南棟の 3 棟がエキスパンションジョイントで連結されている。解析対象とするのは兵庫県南部地震において被害が顕著であった東棟で、1 階ピロティ柱にせん断付着破壊が、また全階において桁行き方向の雑壁にせん断ひび割れが生じた (図-6 参照)。

2.3 解析方法

解析対象建物について離散化極限解析法による弾塑性静解析及び弾塑性地震応答解析を行った。静解析は A_i 分布による水平力を各階に作用させ荷重増分法により行い、地震応答解析は神戸海洋気象台における NS 方向加速度記録の 15 秒間のデータを用いて行った。解析は地震波の主方向である桁行き方向のフレーム X3 について行った。梁耐力・剛性はスラブ有効幅を梁幅の 1.2 倍とした T 形断面として算定した。また、コンクリートのひび割れによる剛性低下を考慮し、柱は初期弾性剛性値の 70%、梁は 50% に低減した。地震応答解析においては、建物が負担しているスラブ・壁の自重及び積載荷重を考慮した。壁の自重は梁間方向の耐震壁と桁行き方向の雑壁を考慮し、積載荷重は建築基準法施行令第 85 条「地震力を計算する場合」より 600N/m^2 とした。

3. 解析結果と考察

3.1 弾塑性静解析

1 階柱・6 階以上の柱・中間階の梁に降伏が生じた

(図-7 参照)。1 階柱降伏は実被害と対応する結果となった。実被害に対応しない柱降伏の原因として、6 階以上は RC 造であり SRC 造に比べ耐力が小さくなることが考えられる。終局変位に関しては SRC 造と RC 造の境界で層間変形が著しく大きくなった (図-8 参照)。解析終了時の層間変形はほぼ全階で約 1/100 まで大きくなったが、それは水平力がベースシア係数 0.6 に相当する大きな値となったためであると考えられる。

3.2 弾塑性地震応答解析

1 階柱(Y1・Y4・Y11)・6 階以上の柱・9 階以上の梁に降伏が生じた (図-5、図-9 参照)。1 階柱降伏は 3 箇所と少ないが実被害に対応している。静解析と同様に RC 造である 6 階以上の柱に降伏が生じる結果となった。応答変位は中間階で層間変形が約 1/130 と大きくなり (図-10 参照)、実際に被害のあった 1 階での層間変形は小さくなった。

4. まとめ

離散化極限解析法を用いて充腹形 SRC 造建物について地震時挙動の解析を行った。弾塑性静解析・地震応答解析共にある程度実被害に対応する解析結果となり、充腹形 SRC 造建物にも適用できる有効なモデル化手法であると考えられる。しかし実際に被害が見られなかった RC 造部分において降伏ヒンジが生じたこと、また SRC 造部分と RC 造部分の境界付近で層間変形が大きくなるなどの特徴が見られた。

【謝辞】本研究は平成 13 年度新潟大学大学院修論生 片寄哲務氏、新潟大学卒論生 浜田佳枝氏のご協力を得て行いました。ここに深く感謝いたします。

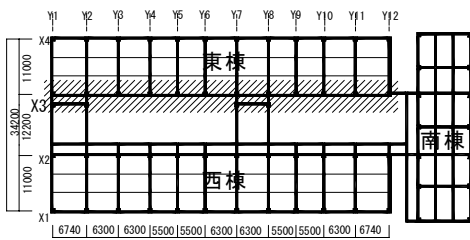


図-4 1階床伏図 (mm)

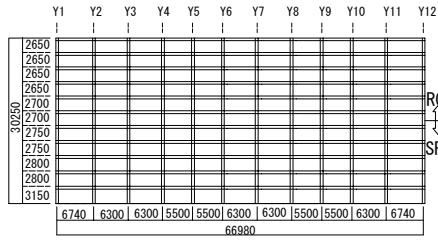


図-5 東棟 X3 軸組図面 (mm)

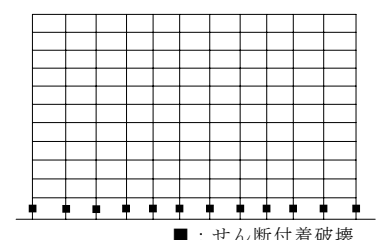
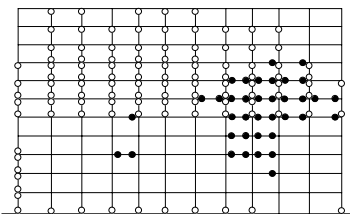


図-6 東棟 X3 実被害図



○ : 柱降伏 ● : 梁降伏

図-7 静解析降伏ヒンジ図

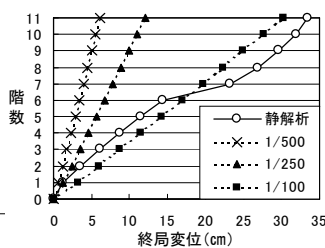
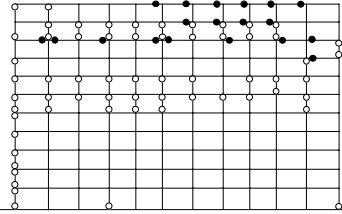


図-8 静解析終局変位図



○ : 柱降伏 ● : 梁降伏

図-9 地震応答解析降伏ヒンジ図

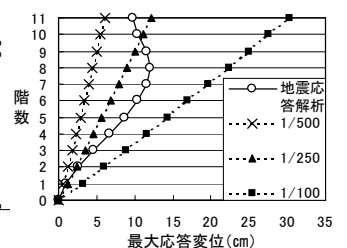


図-10 地震応答解析最大応答変位図

参考文献 1) 田中里子,土井希祐,片寄哲務: 離散化極限解析法による SRC 造建物の地震被害の解析その 2,日本建築学会学術講演梗概集 p1023-1024,2001 2) 川井忠彦: 離散化極限解析法概論,1991 3) 竹内則雄 他: 離散化極限解析プログラミング,1991 4) 川井忠彦,椎名章二: 骨組構造離散化極限解析用プログラム FREAMI の概要,東京大学生産技術研究所,1983.4 5) 日本建築防災協会: 既存鉄骨鉄筋コンクリート建物の耐震診断基準・同解説,1997

* 新潟大学大学院自然科学研究科

**新潟大学工学部 助教授 工博

*Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ.

**Assoc.Prof.,Dept.of Arch.and Civil Eng., Niigata Univ.,Dr.Eng