

応用要素法による RC ボックスカルパートの破壊挙動シミュレーション

東京ガス株式会社 正会員 長島 浩
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに

兵庫県南部地震は、地震災害における建築・土木構造物の崩壊挙動にいたるまでの破壊挙動の解明が、いかに重要であるかを再認識させた。地震による人的被害を軽減するには地震動を受ける変形性能の評価精度を向上させることが不可欠である。そこで本研究では新しい非線形構造解析手法である応用要素法 (AEM) ¹⁾ を用いて、RC ボックスカルパートの数値解析を試みる。そして解析結果から得られた部材耐力や構造全体としての耐力、及び変形性能を評価することにより、応用要素法の妥当性を検討する。

2. AEM の概要

応用要素法 (AEM) では、解析対象を仮想的に分割した要素の集合体として取り扱う。各要素は法線方向とせん断方向の 2 種類のバネでつながれている。各バネにはコンクリートの材料モデルが適用され (図 1)、このバネを介して周囲の要素と力のやり取りを行なう。そしてバネが代表する領域の材料がその領域に作用する応力に耐えられなくなると、バネが切断してクラックが自然に発生するので、進行性破壊現象もスムーズに表現することができる。

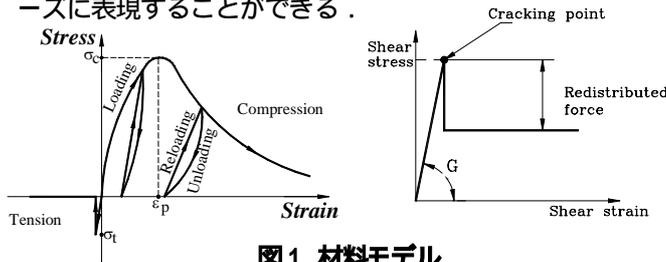


図1 材料モデル

3. 実規模荷重実験に基づいた RC ボックスカルパートの AEM による破壊挙動シミュレーション

解析対象構造物は図 2 に示す底板、頂版、側壁、隔壁を組み合わせた RC ボックスカルパートである。荷重荷重方法は静的交番荷重であり、両側壁にある荷重板に強制変位を水平方向に作用させる。また本来この試験体は地中に埋設されているものであり、土圧の影響を受けている。そこで実験では、図 3 に示すように左右側壁、頂版に取り付けられた荷重板に、水平土圧・鉛直土圧を矢印のように模擬的に作用させ地中での応力状態の再現に努めている。AEM 解析でもこの常時荷重の影響を考慮した上で数値計算を行った。なお、この実験は曾良岡らによるものである ²⁾。

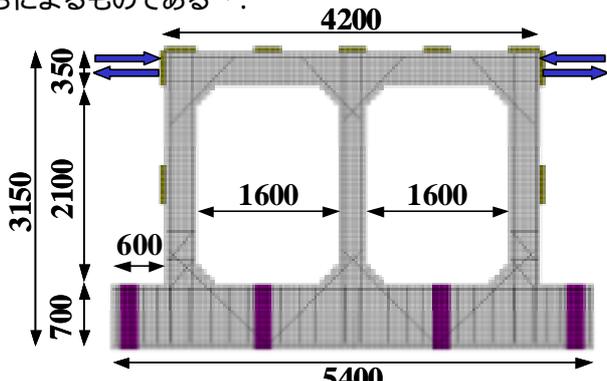
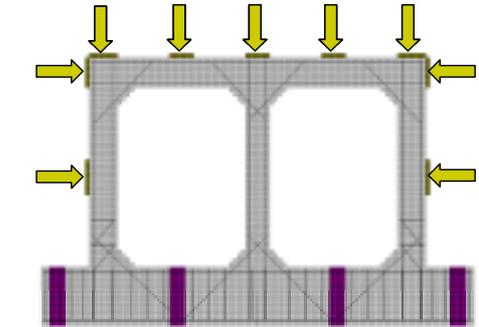


図2 解析対象とした地中構造物 (単位は全て mm)



| | | |
|-----|-----|-----|
| 243 | 109 | 319 |
| 243 | 159 | 319 |
| 109 | 319 | 159 |

図3 鉛直土圧・水平土圧

4. 解析結果

図 4 に前川らが開発した非線形有限要素解析プログラム「WCOMD-SJ」による荷重 - 水平変位関係 ³⁾、図 5 に AEM による荷重 - 水平変位関係を示す。測定対象要素は頂版中央の要素である。この結果から「WCOMD-SJ」を用いた場合には追跡できなかった試験体の終局状態までの挙動が AEM を用いて再現できていることがわかる。図 6 に頂版中央変位 +5.1cm 時における AEM 解析による試験体の変形図を示す。要素の変位をわかりやすくするために、作図に際しては変位の拡大係数を 3 倍とした。この図より実験で発生した左右側壁、隔壁のひびわれ状況が AEM を用いて再現できることがわかる。また荷重ピーク以降に発生した頂版の内側における曲げひび割れも確認することができた。これらの結果から、荷重直後から構造物全体系の耐荷機構が完全に低下するまでの非線形挙動を AEM を用いて高精度に追求できることが確認できた。

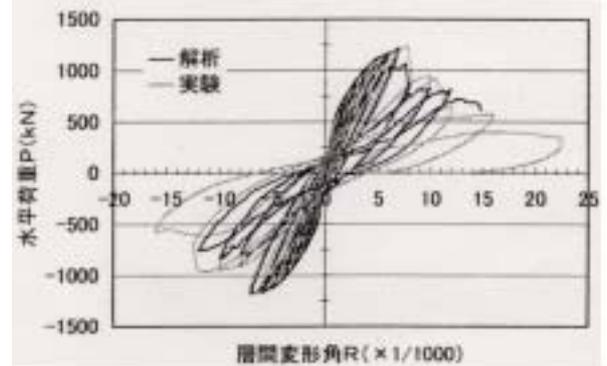


図4 荷重 - 水平変位関係 (WCOMD-SJ) ³⁾



図5 荷重 - 水平変位関係 (AEM)

キーワード：応用要素法，鉄筋コンクリート，地中構造物，地盤，低摩擦材
 〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1 東京大学生産技術研究所B棟 目黒研究室 Tel:03-5452-6436, Fax:03-5452-6438

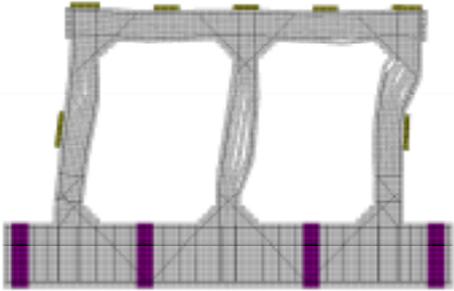


図6 試験体変形図 (Scale factor x3.0)

5. AEMによる地盤変位が及ぼすRCボックスカルバートの破壊挙動シミュレーション

地中構造物の地震時挙動は地上の構造物とは異なり、周辺地盤の影響を強く受ける。そこで本研究では周辺地盤までをAEMでモデル化し、周辺地盤の挙動が構造物に及ぼす影響の検討を試みる。周辺地盤は埋戻土と硬質地盤から構成されており、構造物は硬質地盤上に直接設置されていると仮定する。モデル化に際しては2.0mの土被り厚を考慮しているが実際の土被り厚は11.5mであることから、地中での応力状態を、地盤最上端に鉛直土圧、地盤側面に側方土圧（静止土圧係数 $K_0=0.5$ ）を作用させることにより再現した（図7）。荷重荷重方法は静的一方向荷重であり、地盤側面に強制変位を水平に作用させる。また、構造物-地盤間の滑りをAEM解析において表現するために、構造物-地盤間の法線バネは圧縮域を線形、引張域では相互作用無しとして応力0とした。また接線バネの降伏応力はモールクーロン式で与え、降伏後の剛性を0とした⁴⁾。また本解析では埋戻土-コンクリート間に低摩擦材を模擬した要素（埋戻土のせん断剛性の1/10）を設定し、地盤の滑りが構造物に与える影響について検討した（図8）。

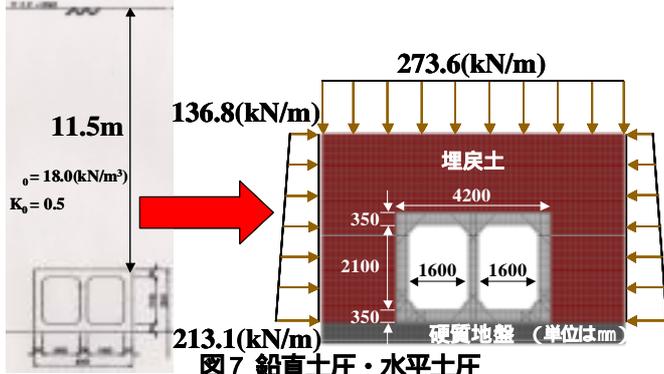


図7 鉛直土圧・水平土圧

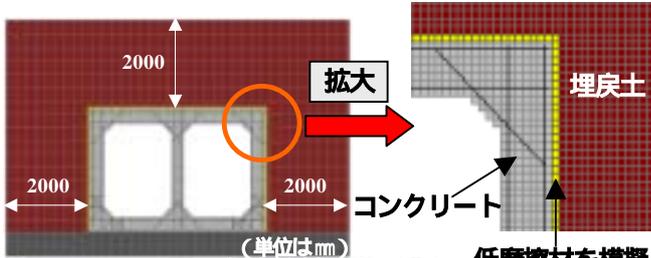
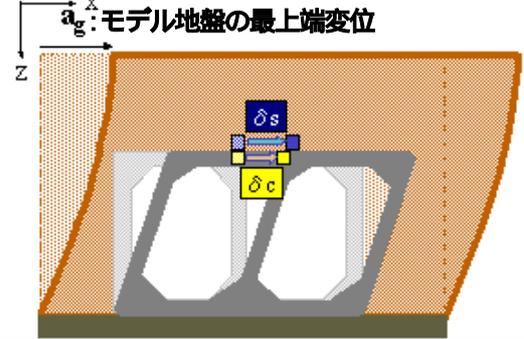


図8 低摩擦材要素の設定

6. 解析結果

低摩擦材なしのケースでは、コンクリートと埋戻土の層間変位量（図9）の値に大きな差異は見られなかったが、低摩擦材を敷設したケースでは、埋戻土の層間変位量がコンクリートの変位量を大きく上回る結果となった。また低摩擦材を導入したことにより、コンクリートの層間変位量は小さくなっている。この結果から地盤と構造物間の滑りを助長させる低摩擦材を敷設することにより、構造物の挙動が地盤の挙動に追従せず、地盤水平方向変位に対して構造物の変形量を抑

制する効果があることがAEMを用いて確認することが出来た。また図10にモデル地盤の最上端変位2.0cmにおける低摩擦材なし・ありのそれぞれのケースのひび割れ損傷状況を示す。低摩擦材なしのケースでは、解析終了時には各部材に多くのひび割れが発生しているのがわかる。図11は表層地盤変位と累積破壊バネ数（ひび割れ発生箇所数）との関係を示したものであるが、低摩擦材を敷設したケースでは、ひび割れ数は約43%低下した。以上の結果から、RCボックスカルバートの地震対策として低摩擦材の敷設が効果的であることがAEMを用いて示された。



| | a_g | 低摩擦材なし | 低摩擦材あり |
|------------|--------|--------|--------|
| 埋戻土 (s) | 2.00cm | 1.41cm | 1.74cm |
| コンクリート (c) | | 1.39cm | 0.58cm |
| 埋戻土 (s) | 5.00cm | 3.87cm | 4.26cm |
| コンクリート (c) | | 3.84cm | 2.06cm |

図9 層間変位

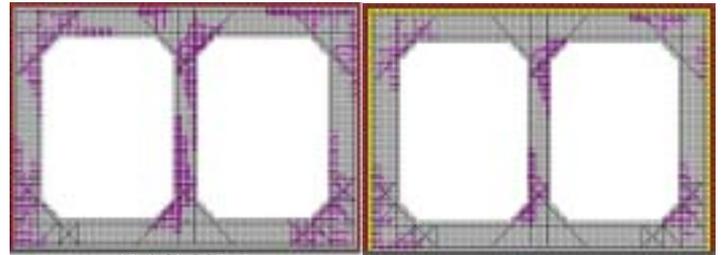


図10 ひび割れ損傷図

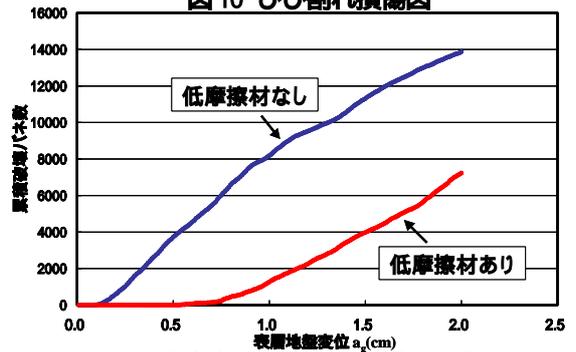


図11 累積破壊バネ数（ひび割れ発生箇所数）

参考文献

- 1) Meguro, K. and Tagel-Din, H : A pplied element method for structural analysis: Theory and application for linear materials, Structural Eng./Earthquake Eng., JSCE, Vol.17, No.1, 21s-35s, 2000.
- 2) 曾良岡宏・足立正信・本田国保・田中浩一：地中ボックスカルバートの変形性能に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，NO.3，2001
- 3) 岡村甫・前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，技報堂出版，1991
- 4) 土木学会：土木構造物の耐震設計入門，2001