

PDS-FEM によるコンクリート構造物の破壊解析

東京大学大学院 学生会員 ○古宇田 剛史
 東京大学 正会員 田中 聖三
 東京大学 正会員 市村 強

東京大学大学院 学生会員 Sun Fangtao
 東京大学 正会員 堀 宗朗
 東京大学 正会員 M.L.L. Wijerathne

1. はじめに

構造物は、人の生活を守り、財産を守るために重要なものであるが、時に災害等の様々な要因により破壊され、それらを危険にさらしてしまうこともある。こうした理由から、構造物の性能の正しい評価が求められており、構造解析においては、様々な荷重条件下での破壊進展の評価手法の導入が必要である。

そこで本研究では、不連続な特性関数で変位場を離散化する PDS-FEM[1]を導入し、破壊進展を考慮することで、コンクリート構造物の破壊解析を行う。構造解析プログラムには、ADVENTURE システムの構造解析ソルバである ADVENTURE_Solid[2,3]を用いる。数値解析例として、大規模波動水路内の津波力によるコンクリート壁の破壊解析を行う。

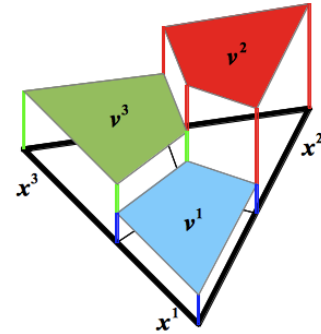


図-1 PDS-FEM における変位場分布

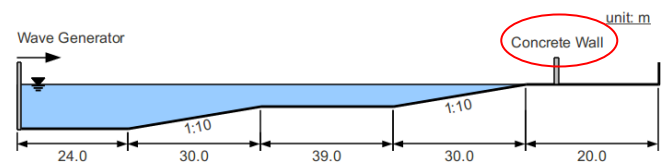


図-2 波動水路モデル図

2. PDS-FEM による定式化

本論文では、構造物は線形弾性体を仮定し、基礎方程式は以下の式で表せる。

$$\nabla \cdot \sigma(\mathbf{v}) = 0 \quad \text{on } \Omega \quad (1)$$

ここで、 $\mathbf{v}$ は変位である。PDS-FEM による定式化[1]では、変位場の離散化は領域 Ω_α 内のボロノイ多角形に基づく特性関数であり、

$$\phi_\alpha(\mathbf{x}) = \begin{cases} 1 & \text{for } \mathbf{x} \in \Omega_\alpha \\ 0 & \text{for } \mathbf{x} \notin \Omega_\alpha \end{cases}$$

を用いて以下のように表現される。

$$\mathbf{v}(\mathbf{x}) = \sum_{\alpha=1}^n v_\alpha^h \phi_\alpha(\mathbf{x}) \quad (2)$$

変位場の三角形要素内での分布は図-1 のようになり、変位に関して不連続な関数を用いて評価することで、ひび割れの界面を簡便に表現できるようになる。なお、ひずみに関しては通常の FEM で用いられる連続関

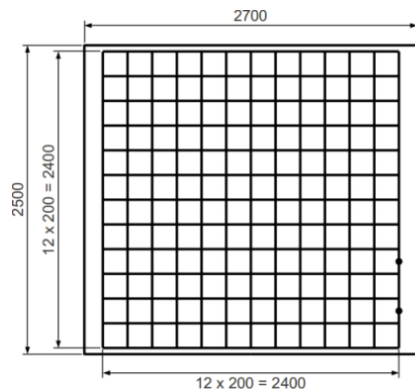


図-3 コンクリート壁諸元

数を使用する。

以上のような PDS-FEM を、オープンソースプロジェクト ADVENTURE の構造解析システムである ADVENTURE_Solid に実装した。

ADVENTURE_Solid は MPI/OpenMP を用いた並列計算法が導入され、大規模自由度問題に対して高効率な解析を行うことが可能である。

キーワード 破壊解析, PDS-FEM

連絡先 〒113-0032 東京都文京区弥生 1 丁目 1-1 東京大学 地震研究所 TEL: 03-5841-1774

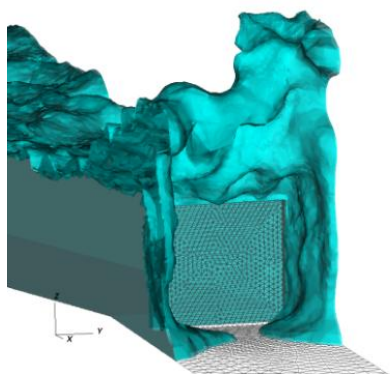


図-4 津波衝突時の水面形状

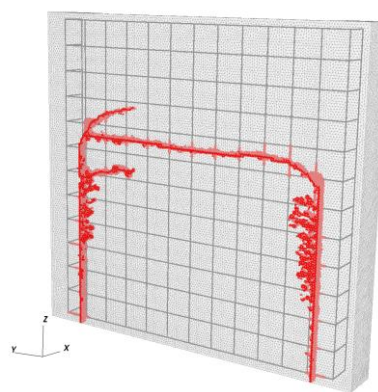


図-6 破壊進展の様子

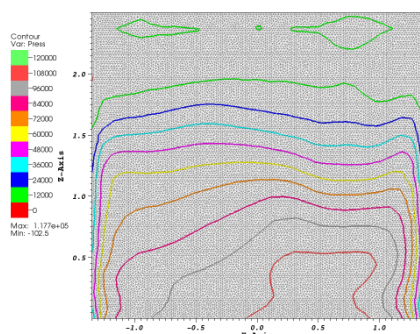


図-5 津波衝突時のコンクリート壁上の圧力分布

3. 津波力によるコンクリート壁の破壊解析

数値解析例として、港湾空港技術研究所による大規模地盤総合水路で行われた津波力によるコンクリート壁の破壊実験[5]を取り上げる。波動水路の諸元は図-2、コンクリート壁の諸元は図-3のようになっている。本解析では、まず水路内の津波伝播について解析を行い[4]、コンクリート壁に津波が衝突した時刻の壁面上での圧力分布を静的外力として、破壊解析を行う。津波衝突時の水面形状、コンクリート壁上での圧力分布を図-4,5にそれぞれ示す。また、解析結果として、この圧力分布を静的外力として解析を行った場合の亀裂進展の様子を図-6に示す。図中の赤線部分が亀裂表面を表しているが、この図より PDS-FEM により亀裂を表現できていることが分かる。亀裂進展等については、今後、詳細な検討が必要である。また、今回取り上げた数値解析例は、時々刻々と荷重が変化する動的な現象であり、今後は、動的解析への拡張が必要となる。また、それに併せて、流体解析（津波解析）との連成を行う必要があるといえる。

4. おわりに

本論文では、コンクリート構造物の破壊進展解析手法の構築を目的とし、PDS-FEM の導入を行った。数値解析例として、大規模波動水路内の津波力によるコンクリート壁の破壊解析を行った。本論文においては、破壊解析は単独の解析であり、津波流体解析とは相互連成していない。今後は、流体解析から破壊解析への連成も含めた解析手法を構築していく必要があり、構造解析においては、亀裂進展の妥当性について比較、検討を行っていく予定である。

参考文献

- [1] 小国健二, 堀宗朗, 阪口秀: 破壊現象の解析に適した有限要素法の提案, 土木学会論文集, No. 766/I-68, pp. 203-217, 2004.
- [2] ADVENTURE Project HP, <http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/>
- [3] Miyamura, T., Noguchi, H., Shioya, R., Yoshimura, S., and Yagawa, G.: Elastic-plastic analysis of nuclear structures with millions of DOFs using the hierarchical domain decomposition method, *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 212(I-3), pp. 335-355, 2002.
- [4] 田中聖三, 堀宗朗, 市村強, 宮村倫司, M. L. L. Wijerathne: 津波力による構造物の破壊解析, 計算工学講演会論文集, Vol. 17, 2012.
- [5] 有川太郎, 中野史丈, 大坪大輔, 下迫健一郎, 石川信隆: 遡上津波力による構造物の変形・破壊挙動の検討, 海岸工学論文集, 54, 841-845, 2007.