

## 断層変位を有する地盤と地中ボックスカルバートの相互作用

東電設計株式会社 正会員 ○ 船場 翔, 正会員 小林 正幸  
 横浜国立大学 正会員 山野井 悠翔, フェロー会員 前川 宏一

### 1. はじめに

地中構造と地盤との相互作用を評価する上で、地中構造の存在に依存する地盤の局所化せん断変位（断層）の進展を適切に評価することが肝要である。接合要素等<sup>1)</sup>で断層位置と方向を予め確定すると、地中構造との相互作用を無視する検討に留まる恐れがある。構造物が高い非線形性を帯びてくると、それ自体が断層変位の進展方向に有意な影響を及ぼすことも想定される。予め断層が進展する位置と方向を確定しない相互作用解析が進展モードの分析に必要である。本研究では、せん断破壊帯を模擬できる地盤モデルを断層変位問題に適用することを念頭に、地中ボックスカルバートを含む地盤の断層変位モードに関する感度分析を行った。

### 2. 解析モデルおよび解析パラメータ

#### (1) 解析モデル

検討対象構造物は岩盤上に設置された地中ボックスカルバートとした<sup>2)</sup>。この種の構造物は弱軸となる横断面に対して設計が行われることを勘案し、断層変位の検討も2次元横断面に対して実施することとした。構造物の横断面図を図-1に、解析モデルを図-2にそれぞれ示す。解析モデルは構造・地盤とも奥行き方向に1要素の固体要素でモデル化した。地盤は表層と岩盤の2層構造とし、強度までのせん断応力-ひずみ関係には大崎モデルを用い、岩盤断層を考慮して dilatancy は無視した。地盤物性値を表-1に示す。構造物は弾性体（ヤング率=22GPa相当）とした。地盤モデルにはせん断強度以降の軟化モデルを導入し、せん断破壊帯をほぼ模擬できることが確認されている<sup>3)4)</sup>。ここで、せん断破壊帯の幅を5mmに設定して要素内での破壊エネルギーを特定し、要素寸法に依存しない局所化領域を再現した。

想定する断層は進展初期の傾斜角45°の逆断層型とし、図-3に示すとおり、解析モデルの底面と側方境界へ強制変位を与えて地盤内に展開する断層変位の出发点とした。本解析モデルでは接合要素により断層面を事前規定していないため、断層変位は固体要素群の中に局所化領域を作りながら進展していくこととなる。

#### (2) 解析パラメータ

断層変位の進展には多くの因子が影響していると考えられるが、本研究での解析パラメータは①初期断層変位の進展速度、②地盤剛性に限定した。断層変位の進展は本来、慣性力と時間依存性を伴う動的問題であるが、従来の研究では主に静的問題として扱われていた。そこで本研究では、まず動的載荷と静的載荷の解析を行い、両者の違い（慣性力の効果）を確認することとした。また断層変位の進展や構造物の損傷状況は地盤と構造物の剛性比に依存していると考えられるため、地盤剛性を検討事項に選定した。

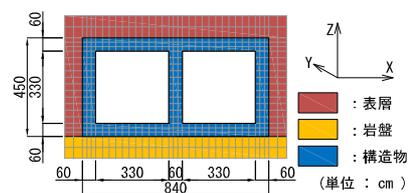


図-1 構造物横断面図

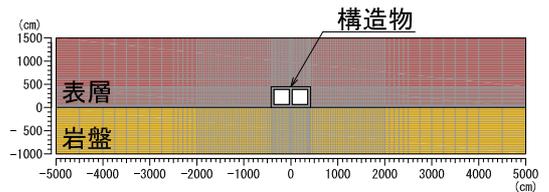


図-2 解析モデル図

表-1 解析用物性値(地盤)

項目		表層	岩盤
初期せん断剛性	(kgf/cm <sup>2</sup> )	633	5296
せん断強度	(kgf/cm <sup>2</sup> )	2.6	17.90
単位体積重量	(kgf/cm <sup>3</sup> )	0.0018	0.0017
相対密度	(%)	50.0	99.9
付着力	(kgf/cm <sup>2</sup> )	1.65	5.00
内部摩擦角	(deg.)	30	35
せん断帯	(cm)	0.5	0.5

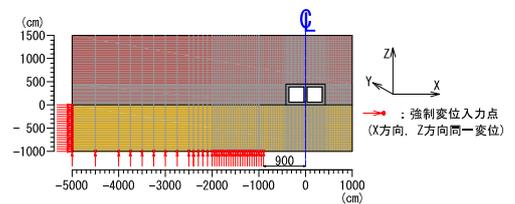


図-3 モデル上の強制変位点

キーワード 地盤・構造物連成系解析, 断層変位

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計(株) TEL 03-6372-5111

### 3. 解析結果

#### (1) 断層変位の進展速度の影響

岩盤底部での強制せん断変位の進展速度を 200cm/s, 100cm/s 及び 1cm/s (静的载荷の扱い) としたときのひずみ分布の比較を, 図-4(凡例は図-5 と共通)に示す. 断層変位の進展速度は文献<sup>5),6)</sup>に基づいて設定した. 図-4より, いずれも断層変位は構造物の左側壁下端へ向けて進展し, 続けて右側壁下端へ向けて分岐している. 構造物のひずみも断層変位の進展に伴う地盤変位に応じて, 部材端部と部材中央で大きくなった. 解析で用いた岩盤と躯体の構成モデルは時間依存性を考慮していないので, 解析の差は慣性の影響による. 図-4 で見る限り, ひずみの局所化挙動に断層変位の進展速度の影響は顕著に現れていないことから, 地盤ひずみと構造物ひずみに及ぼす断層変位の進展速度の影響は, 本研究の諸元の範囲内においては小さいと言える.

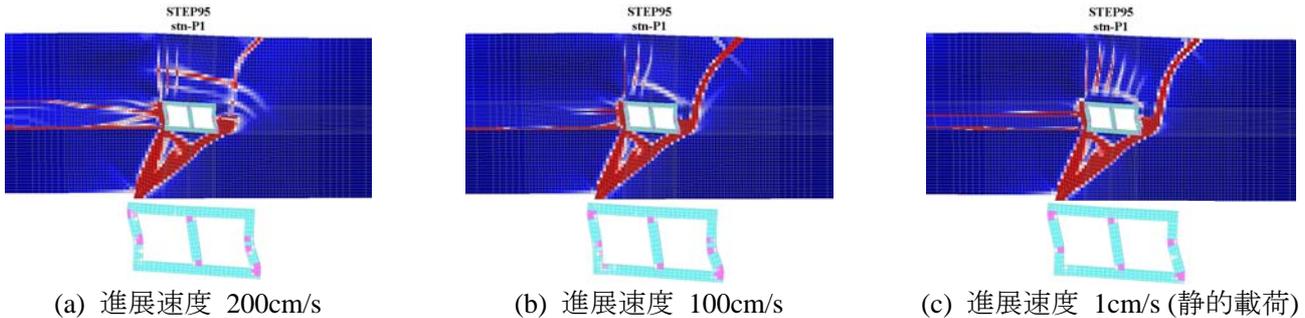


図-4 断層変位の進展速度の影響によるひずみ分布の比較(強制変位 90cm 時)

#### (2) 地盤剛性の影響

極端なケースとして, 表層地盤を岩盤の物性値に置き換えた解析を実施した. 2層構造の結果との比較を図-5に示す. 両者の局所化領域は大きく異なり, 2層モデルでは局所化領域が分散, 分岐しているのに対し, 地盤全体が硬い場合は, 地表まで進展する局所化間に構造物を挟んで1本に集約されている.

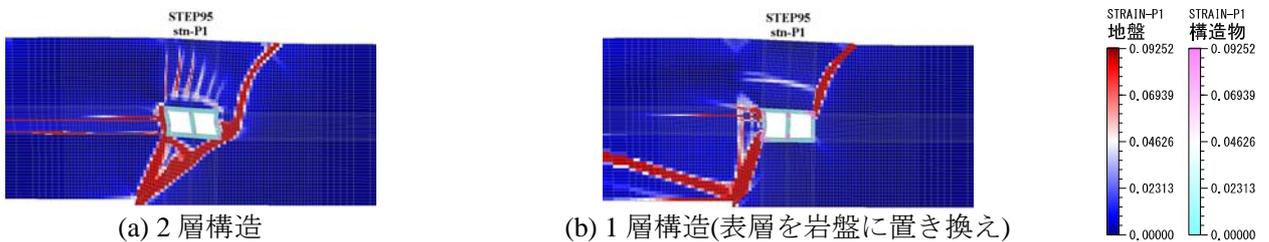


図-5 地盤剛性の影響によるひずみ分布の比較(静的载荷/強制変位 90cm 時)

### 4. まとめ

本研究では, 断層変位問題に対する地盤—構造連成非線形解析の適用性確認のために, 条件を極端に簡略化した感度解析を実施した. その結果, ①岩盤と構造と地盤の3者が連成する状況でのせん断局所化が, 条件ごとに多様に変化し得ること, ②動的载荷と静的载荷の違いは小さいこと, ③断層変位の進展は地盤剛性に大きく依存すること, が数値解析の結果から示唆された.

今後は, 地盤物性値, 構造物諸元, 断層諸元, 変位载荷方法等を要因とした検討を充実させて, 地中ボックスカルバートが断層変位を受けたときの挙動を明らかにし, 断層変位の影響を軽減するための対策工へと発展させていく予定である. 併せて, 局所化モードの発生を実験で再現して解析モデルの検証を進めたい.

### 参考文献

- 1) 土木学会 原子力土木委員会 : 断層変位評価小委員会研究報告書, 2015年7月
- 2) 島端ら: 屈曲部を有する RC 製地中ボックスカルバート構造物の三次元非線形地震応答解析, 土木学会第 72 回年次学術講演会, 平成 29 年 9 月
- 3) Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanas, A. : Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, SPON PRESS, 2003.
- 4) Masoud Soltani, Koichi Maekawa : Numerical simulation of progressive shear localization and scale effect in cohesionless soil media International Journal of Non-Linear Mechanics69, 2015
- 5) Heaton, T. H.: Evidence for and implications of self-healing pulses of slip in earthquake rupture, Phys. Earth Planet. Inter., 64, 1-20, 1990.
- 6) Kubo et al.: Source rupture processes of the 2016 Kumamoto, Japan, earthquakes estimated from strong-motion waveforms, Earth, Planets and Space ,2016