

EPSを使用した腹付盛土の地震応答解析

The seismic response analysis of a widening of embankment by Expanded Poly-Styrol

軟弱地盤上の腹付道路盛土においては、周辺地盤に対し有害な変位を与えることが容易に予想される。特に本報告箇所のように近接構造物がある場合の悪影響は大であり、何らかの対策が必要不可欠となる。そこで、この対策の一つとして、EPSを用いた軽量盛土工法を採用することとした。

なお、EPSを採用するに当たっては、この材料の振動特性が土や路盤材など他の材料のそれと異なり、地震時に不安定となる場合もあるため、地震応答解析による安全性の確認を行った。

よって、ここにその解析結果を紹介する。

1. 概要

検討対象となる取付道路は本線の拡幅に伴うかさ上げ腹付け盛土である。この取付道路は泥炭層を主体とする軟弱地盤上に施工されかつ近接構造物(送電線の鉄塔)があるためかさ上げ腹付け盛土をした場合その構造物基礎に沈下等の悪影響を与える事が解析上明かとなった。このため対策工を検討し、経済性、施工性等を総合的に判断した結果、EPSを使用した腹付け盛土を採用することとした。

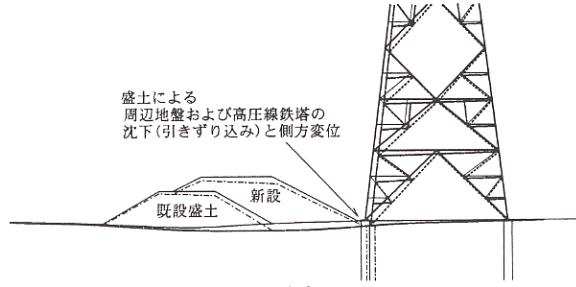


図-1 工事概要図

2. 解析の目的

当解析箇所のように軟弱地盤上にEPSを使用した腹付盛土はあまり例が無く地震時の安全性が懸念されたため以下の2点に着目して地震応答解析をおこない地盤全体系の安定性について照査した。

- ① 土とEPSのように剛性、質量の異なる材料を組み合わせて使用すると固有周期の違いから一体となった挙動を示さない可能性がある。
- ② EPS盛土の上に路盤材が載るため、EPS盛土部がトップヘビー構造になり耐震上不安定になる可能性がある。

野田 洋昭*

渡邊 幸雄**



3. 解析の流れ

図-2は解析のフロー、図-3は解析方法をイメージ図にしてまとめたものである。まず、地盤、盛土、EPSの各々の動的物性値を設定し、一定領域の地盤をモデル化する。次に基盤面に地震動を入力して複素応答解析を行う。これより地盤、盛土、EPS各部分での応答値が得られ地震時より正確な挙動を把握することができる。

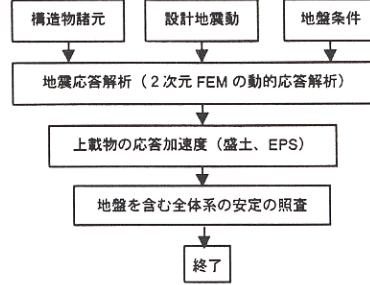


図-2 解析の流れ

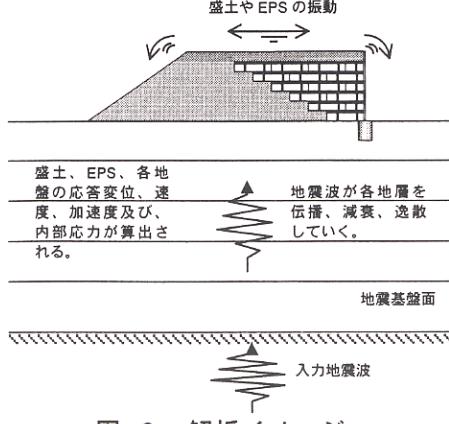


図-3 解析イメージ

*) 地質部 Hiroaki NODA, 技術士補（建設部門）

**) 地質部 Yukio WATANABE

4. 解析モデル

道路横断方向の2次元解析とした。地震基盤を地表から約34m以深に設定し、それ以浅の地盤構成を有限要素によってモデル化した。地盤、盛土の要素については土の非線形性を考慮し、EPSおよび路盤材は線形要素とした。図-4に解析モデル図を示す。図中の γ 、 G_0 、 ν は、それぞれ、単位体積重量、動的せん断弾性係数、ポアソン比である。地盤は無限なので左右端部は伝達境界とした。

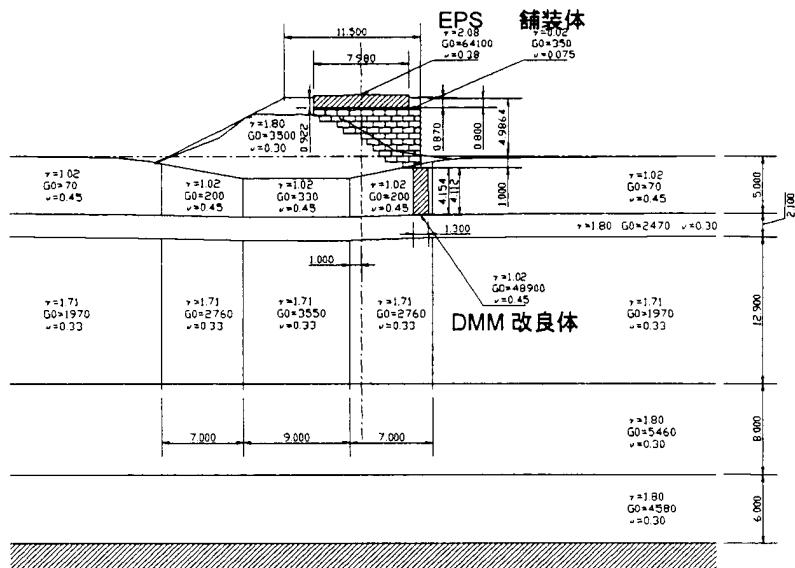


図-4 解析モデル図

解析に用いる地盤のせん断弾性は動的なものを用いる。動的せん断弾性係数は参考文献-1に従い、次式により算出した。

$$G_D = \frac{\gamma_t}{g} \cdot v_s^2 \quad (\text{式-1})$$

ここに G_D : 動的せん断弾性係数 (kgf/cm^2)
 γ_t : 単位体積重量 (kgf/cm^3)
 g : 重力加速度 (cm/s^2)
 v_s : せん断波速度 (cm/s)

なお、 v_s は次式からもとめる

$$v_s = 0.8 \cdot 80 N^{1/3} \quad (\text{砂・盛土})$$

$$v_s = 0.8 \cdot 100 N^{1/3} \quad (\text{下部粘性土})$$

ただし、上部の粘性土層および改良体（EPS保護板直下の泥炭層は深層混合処理により改良する）について次式により求めた。

$$G_D = 51.0 G_L \quad (\text{式-2})$$

ここに G_L : 静的せん断弾性係数 (kgf/cm^2)

この式は、参考文献-4に示された速度から求めた剛性率とLLTによる剛性率の相関（これを図-5に示す）から得られたものであるが、ここで静的せん断係数は、弾性論により導かれる静的な地盤の弾性係数から次式を求めた。

$$G_L = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

ここに E : 地盤の弾性係数 (kgf/cm^2)
 ν : ポアソン比

$$E = \frac{1}{m_\nu} \cdot \frac{(1-2\nu)(1+\nu)}{(1-\nu)} \quad (\text{上部粘性土})$$

ここに m_ν : 体積圧縮係数 (cm^2/kgf)

$$E = (400 \sim 600) q_u \quad (\text{改良体})$$

ここに q_u : 一軸圧縮強度 (kgf/cm^2)

表層部分の泥炭層は、他の層と異なり非常に軟弱な層となっている。このため、動的せん断係数の算出は一般的な方法によるものではなく、参考文献-2に示された次式で計算した。なお、既設盛土の応力下にある部分については強度増加を考慮するものとした。

$$G_D = 1740 w_c^{-0.67} (\sigma'_c)^{0.55} \quad (\text{式-3})$$

ここに w_c : 含水比 (%)

σ'_c : 拘束圧 (kgf/cm^2)

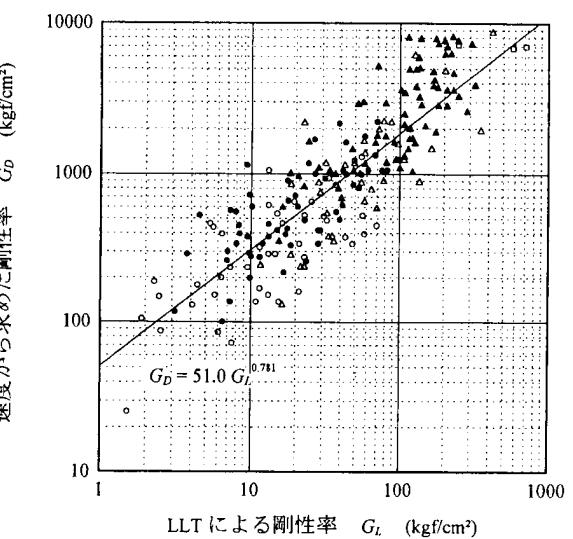


図-5 静的一動的せん断弾性係数の関係

地盤の非線形性を考慮するのにあたって図-6に示したせん断剛性比 G/G_0 ・減衰 h -ひずみ γ 曲線を使用した。これらの値は、動的振動試験の結果より求まるものだが、今回は参考文献-2, 3により各土層の代表的な値を求めた。

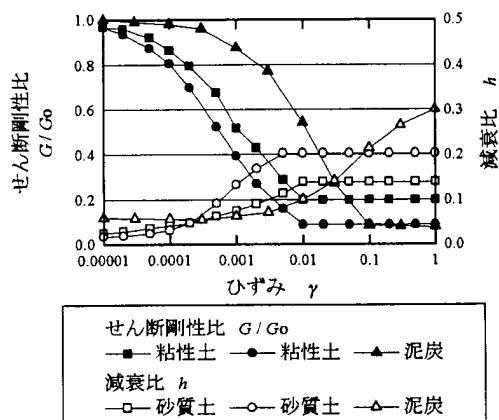


図-6 せん断剛性比・減衰-ひずみ曲線

6. 入力地震波

解析に使用する地震の加速度波形は、「修正開北橋」の地震波 (max : 102 gal) を用いている。この地震波 (これを図-7に示す) は、参考文献-1のなかで震度法による耐震設計結果の照査に用いる地震入力として規定されている加速度応答スペクトルに一致させた波形である。なお、この地震波の入力位置は、工学的基盤面と考えた地表面から -34 m とした。

また入力時間は 45 秒、タイムステップは 0.01 秒、最大解析周波数 10 Hz としている。

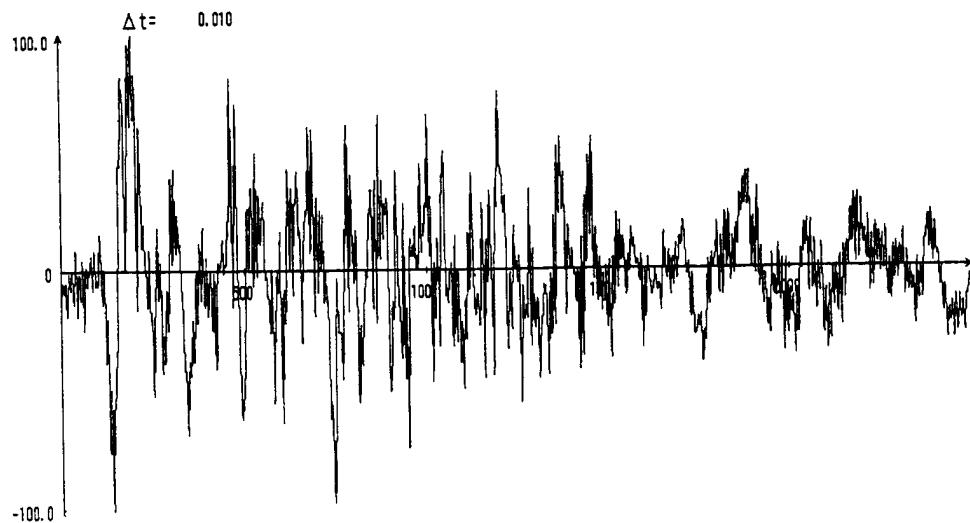


図-7 入力加速度波形(修正開北橋 max:102gal)

7. 解析結果

- ① 土と EPS のように剛性・質量の異なる材料を組み合わせて使用した場合の挙動検討

図-8にEPS 上端部 (パネル側) と盛土内部の応答加速度波形を示す。この応答波形の形状を比較すると、EPS 上端部 (パネル側) と盛土内部では、ほぼ同様の形状を示していることから、同一周期で振動していることがわかる。また、最大応答値を比較すると EPS 上端部 (パネル側) 124.920 gal, 盛土内部 123.575 gal と差が 1~2 gal 程度であることから、EPS 部と盛土部とは一体となった挙動を示すといえる。

- ② トップヘビー構造における耐震検討

図-9にEPS 盛土 (パネル側) の上端部と下端部の応答加速度波形を示す。この応答波形の最大応答値を比較すると、EPS 盛土の上端部では 124.920 gal, EPS 盛土の下端部 106.275 gal と差が 18 gal 程度と小さいことから、EPS 盛土部でロッキングや、変形 (たわみ) の様な挙動はほとんど起こらず、地盤の水平振動に伴い EPS 盛土が一体となって剛体運動すると考えられる。

また、同様のことが図-10の最大応答変位分布、図-11 の最大せん断歪み分布図からも確認できる。図-10の最大応答変位分布図を見ると、EPS 盛土全体がほとんど変形せず、一体となって水平方向に剛体移動している様子が確認できる。このことから当初懸念されていた、EPS と盛土が個別に振動するような変形性状は発生しないことが確認できる。また、EPS 盛土部に歪み、ロッキング現象が見られないことから、トップヘビー構造ではあるが耐震上問題のないことが確認できる。

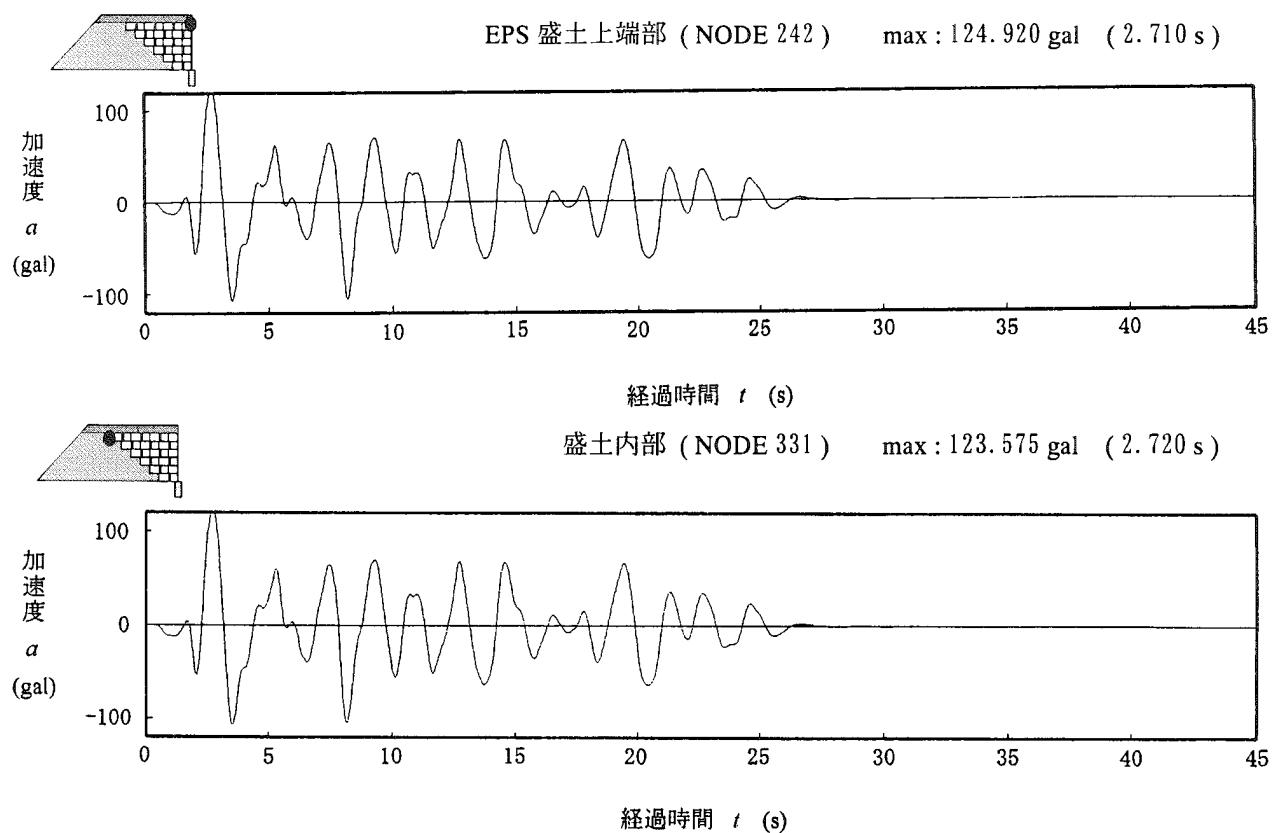


図-8 EPS 上端部（パネル側）と盛土内部の応答加速度波形

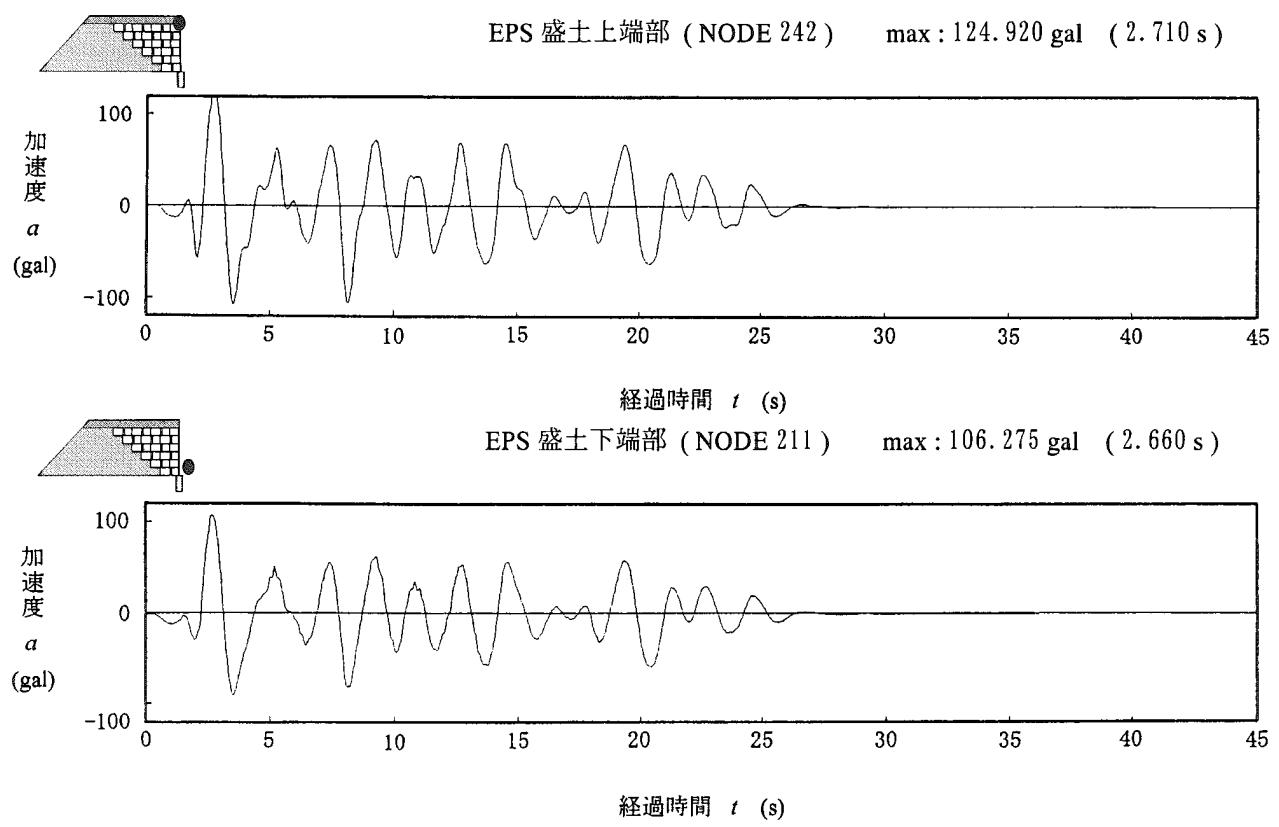


図-9 EPS 盛土（パネル側）の上端部と下端部の応答加速度波形

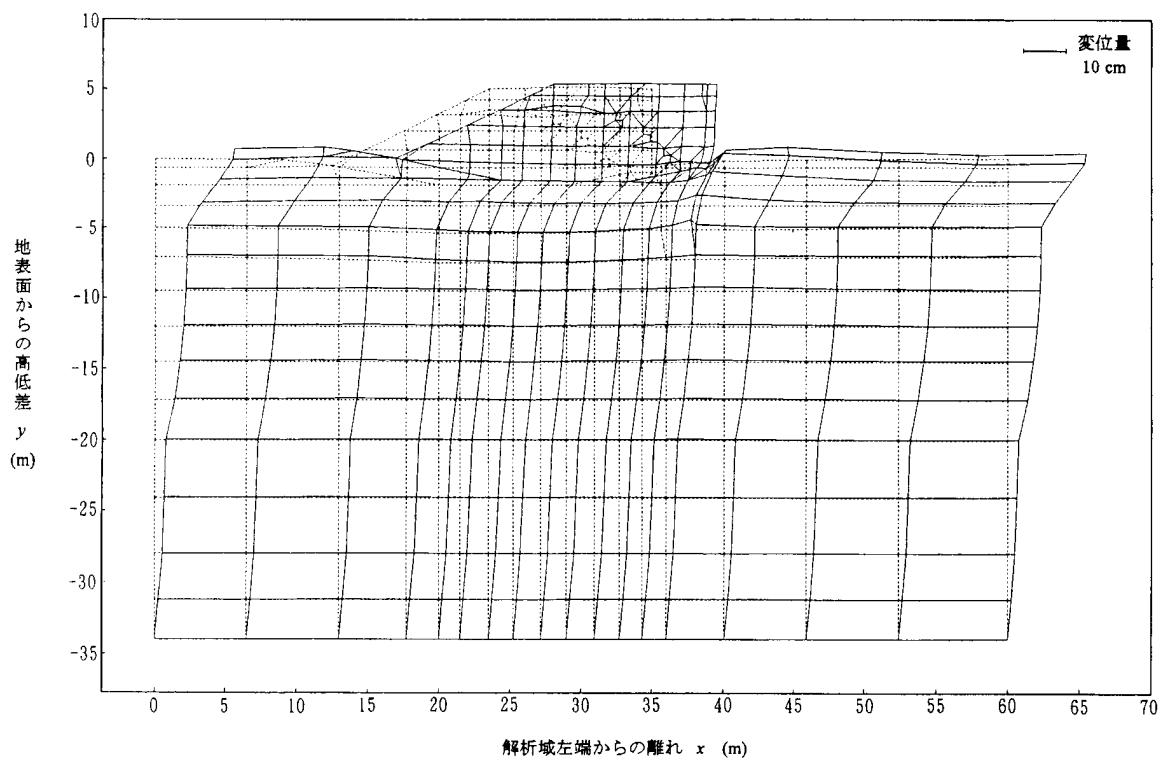


図-10 最大応答変位分布図

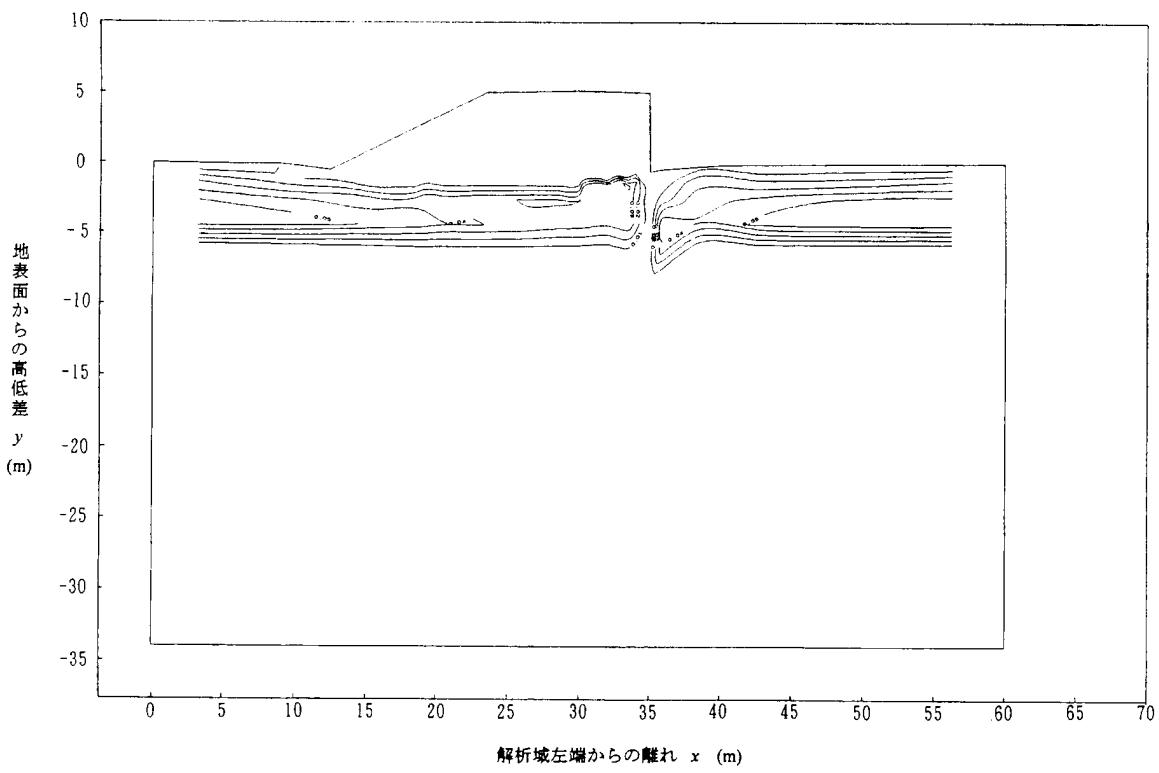


図-11 最大せん断ひずみ分布図

8.まとめ

以上の解析により得た結果をまとめると次のようになる。

- ① 盛土、EPS のように剛性、質量の異なる材料を組み合わせて使用した場合でも、固有周期の違いから個別に振動するようなモードは見られず、一体となった挙動を示し耐震上問題ないことが確認できた。
- ② EPS 盛土の上に路盤材が載る事により、EPS 盛土部がトップヘビーの構造になるものの、耐震上、十分安定している事が確認できた。
軟弱地盤上に盛土をした場合であっても今回検討したような条件では盛土部に大きな影響は無く、耐震上問題ないことが確認できた。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V 耐震 設計編 平成8年12月
- 2) 土岐、能登、熊谷、峰田：泥炭に関する研究討論会論文集「泥炭の動的変形特性に関する実験的研究」
- 3) 土質工学会：土質工学ハンドブック
- 4) 土木学会：土質調査法 第2回改訂版

あとがき

NOTE KAIHATU KOEI Vol. 5をお届けいたします。

◇はじめに、過日行われた社内の技術発表会について報告させて頂きました。この発表会は若い技術者が、自分の専門とする分野の技術をより一層高めると同時に他の技術分野への理解を深めることを目的として、毎年開いているものです。

◆当社は建設コンサルタント業としてのスタートは遅く、技術の蓄積が必ずしも充分ではありません。しかし、反面で伸び盛りの若手の技術者が多く、技術力の向上に真摯に取り組む意欲が感じられます。発表論文の技術レベルは、当社の現状を反映して分散の多い散布の状況になっております。ただ、発表論文の筆圧はいずれも高いものでした。

◇発表会でふと感じたことを、批判を承知で素直に述べさせていただきます。コンピューターへの依存度が強いことへの不安です。インプット→ブラックボックス→アウトプットの連鎖に慣れ、思考過程でブラックボックス部分が完全に空洞化されることへの恐れです。あたかも、コンピューターが自動的に作品を生み出すかの如き錯覚に陥る危険性です。スピードを追い過ぎた現代の風潮が生み出した当然の帰着かも知れませんが。

◆タイガー計算器万能の頃との比較などといえば笑われるでしょう。しかし、技術者は数値の精緻さや正確さ、演算スピードの飛躍的な向上を与えられたのと引き替えに、作品を通じて表現される自己主張や、想い入れなどの面はいくぶんか稀薄になった気がします。

当時、不静定構造物の設計には繰り返し計算法を用いるものと相場が定まっていました。それは肉体労働であり、そこに必要だったのは唯一動物的な感覚でした。頭と目と両腕と恐らくは過去の全経験則が一体となって、思い描く収斂値を追い求めたことでした。

◇作品は、技術者が育んでいくもので、そもそも人間性の表現です。ですから、イメージが具体的な形にまとまっていく過程では、人としての動物的なリズムが必要だと思われてなりません。設計思索には、適度な余白のあるリズムこそ相応しいものと考えます。

定山渓の国道にあるいくつかの構造物の造形過程は、このリズムを体験した一例です。タイガー計算器と演算機器としてのコンピューターと思索とが生み出した程良い設計サイクルが、イメージを徐々に作品へと導いたものと思います。C・Gが発達した今日でも人の生理的なリズムはあまり変わらない筈ですが、どうなんでしょうか。

◆当社の建設コンサルタント登録部門数は、ようやく7部門に達することができました。それらを担う技術スタッフとして123名の技術者が、11名の技術士（今春には数名の新技術士の誕生が期待されております）を中心に少しずつですが着実に、質の高い業務遂行の体制を整えつつあります。成果品にこの結果がはっきりと表れるよう精進をかさねたいと考えておりますので今後ともよろしくお願ひ申しあげます。

取締役 高谷 弘