

## 不整形地盤における直方向地盤ひずみの簡易評価法

東京ガス株式会社 正会員 坂上 貴士

### 1. 概要

溶接鋼管のような地中線状構造物の耐震性を議論する際には、地震動により発生する地盤ひずみを高精度で評価する必要がある。特に、基盤が不整形性を有する地盤構造（以下、不整形地盤）においては、成層地盤に比して大きな地盤ひずみが発生することから、その定量化は重要な課題である。本検討では、種々の幾何形状を有する不整形地盤において発生する直方向地盤ひずみを1次元応答解析による結果を用いて簡易に評価する方法を考案したので、ここに報告する。

### 2. 直方向地盤ひずみの簡易評価法

鉄道構造物の耐震設計基準<sup>1)</sup>においては、不整形地盤が認められる場合の設計地震動を算定する際、鉛直方向に伝播する直達波と基盤傾斜部で生成された水平方向に伝播する横方向伝播波を考慮する<sup>2)</sup>こととなっている。ここで、横方向伝播波の振幅については、表層地盤と基盤層のインピーダンス比、表層地盤の層厚、基盤の傾斜角度に関する補正を直達波に対して施すことにより、その特性を規定する方法が示されている。

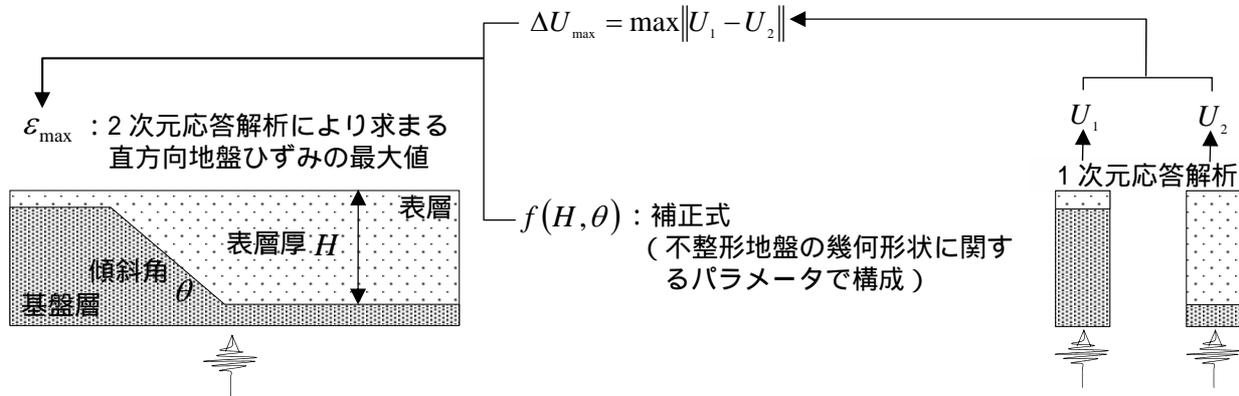


図1 不整形地盤による直方向地盤ひずみの簡易算定法

本報告にて提案する方法は、横方向伝播波の振幅は直達波を補正することで規定されるという鉄道構造物の耐震設計基準の考え方<sup>1,2)</sup>に基づいており、1次元応答解析により求まる表層の変位応答差に対して、不整形地盤の幾何形状に関するパラメータで構成される補正を考慮することにより、不整形地盤において発生する直方向地盤ひずみを簡易に算定するものである。実際の耐震設計においては、直方向地盤ひずみの最大値を把握することが特に重要である場合が多い。そのような場合、提案する評価法の概要は図1に示すように表され、直方向地盤ひずみの最大値は次式で算定される。

$$\epsilon_{\max} = f(H, \theta) \cdot \Delta U_{\max} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 $\epsilon_{\max}$ ：直方向地盤ひずみの最大値、 $\Delta U_{\max}$ ：表層地盤の相対変位の最大値、 $f(H, \theta)$ ：不整形地盤の幾何形状に関するパラメータで構成される補正式である。本手法の特徴は、入力地震動や表層地盤に関する特性（線形弾性体の場合には、せん断波速度と単位体積重量）が $\Delta U_{\max}$ に反映される点である。よって、 $f(H, \theta)$ が決定された後は、種々の表層地盤や入力地震動下における直方向地盤ひずみを2次元応答解析によらず、1次元応答解析により求まる $\Delta U_{\max}$ のみから算定することが可能となる。

### 3. 不整形形状による効果を補正するための係数の算定

不整形地盤の幾何形状に関するパラメータで構成される補正式 $f(H, \theta)$ を決定する端緒として、表層厚 $H$ を固定した条件にて、傾斜角 $\theta$ を変化させた2次元応答解析を実施し、その値と1次元応答解析で得られた値との関係を調査した。また、傾斜角 $\theta$ を固定した条件にて、表層厚 $H$ を変化させた2次元応答解析を実施し、その値と1次元応答解析で得られた値との関係を調査した。

入力に用いた波形は表層の1次固有周期を中心周波数とするRicker-Wavelet波とした。基盤層及び表層のせん断波速度は、それぞれ300m/sec及び100m/secとした。基盤層及び表層の単位体積重量は、それぞれ27.4kN/m<sup>3</sup>及び17.6kN/m<sup>3</sup>とした。2次元応答解析における側方の境界条件は水平ローラーとし、基盤底面は半無限地盤とした。

キーワード 不整形地盤、地盤ひずみ、地中線状構造物

連絡先 〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-7 東京ガス株式会社 TEL 045-505-7309

表層厚 25mの場合における傾斜角と  $\varepsilon_{\max} / \Delta U_{\max}$  (2次元応答解析より求まる最大ひずみ / 1次元応答解析より求まる相対変位の最大値) との関係を図2に示す. また, 傾斜角 45度の場合における表層厚と  $\varepsilon_{\max} / \Delta U_{\max}$  (2次元応答解析より求まる最大ひずみ / 1次元応答解析より求まる相対変位の最大値) との関係を図3に示す. 図2に示した傾斜角と  $\varepsilon_{\max} / \Delta U_{\max}$  の関係を回帰することにより, 表層厚 25mの場合における補正式  $f(H = 25m, \theta)$  が, 式(2)のように決定される. また, 図3に示した表層厚と  $\varepsilon_{\max} / \Delta U_{\max}$  の関係を回帰することにより, 傾斜角 45度の場合における補正式  $f(H, \theta = 45 \text{ deg.})$  についても同様に式(3)のように決定される.

$$f(H = 25m, \theta) = 0.0035 \ln(\theta) + 0.004 \quad \dots \text{式(2)}$$

$$f(H, \theta = 45 \text{ deg.}) = -0.0088 \ln(H) + 0.0446 \quad \dots \text{式(3)}$$

今後, 表層厚及び傾斜角を独立に変化させた条件にて,  $\varepsilon_{\max} / \Delta U_{\max}$  (2次元応答解析より求まる最大ひずみ / 1次元応答解析より求まる最大変位) との関係を示し, 定式化することで表層厚  $H$  及び傾斜角  $\theta$  を変数とする補正式  $f(H, \theta)$  が決定される.

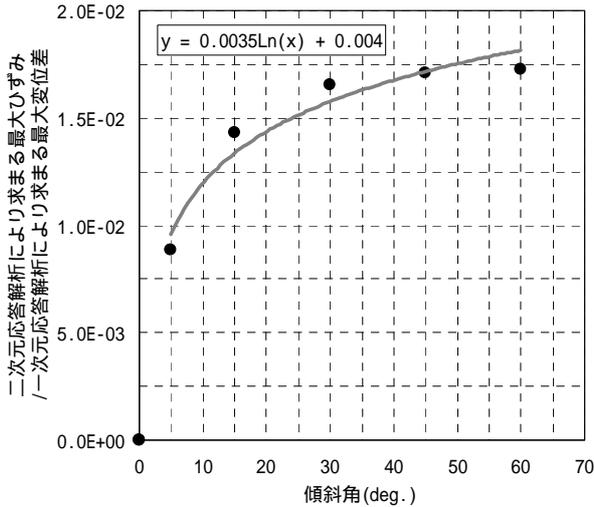


図2 傾斜角による補正式の算定根拠

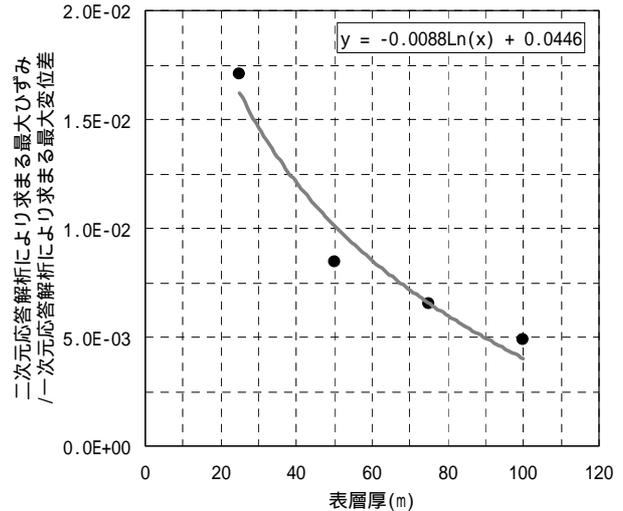


図3 表層厚による補正式の算定根拠

#### 4. 実地震波により発生する地盤ひずみに対する簡易評価法の適用性検討

提案した簡易評価法が実地震波により発生する直方向地盤ひずみの算定に適用できるかについて検証した. 式(2)又は式(3)で定まる補正式を用いた検証を行うことから, 解析対象とする不整形地盤の表層厚及び傾斜角は, それぞれ 25m 及び 45度とした. 基盤層及び表層のせん断波速度及び単位体積重量は, 3. の解析条件と同一とした. 入力動は, 兵庫県南部地震の東神戸大橋で観測された NS 成分の強震記録 (446gal) とした.

図4に2次元応答解析により求まる直方向地盤ひずみと表層地盤の1次元応答解析より求まる変位差の時刻暦を示す. 振幅及び位相特性に関する調和性は, 提案手法が妥当性を有することの証左である.

1次元応答解析より求まる  $\Delta U_{\max}$  に対して式(2)及び式(3)による補正を施した値は, それぞれ, 0.25%及び0.27%であり, 2次元応答解析より求まった直方向地盤ひずみの最大値 0.28%に対して高い再現性を有する.

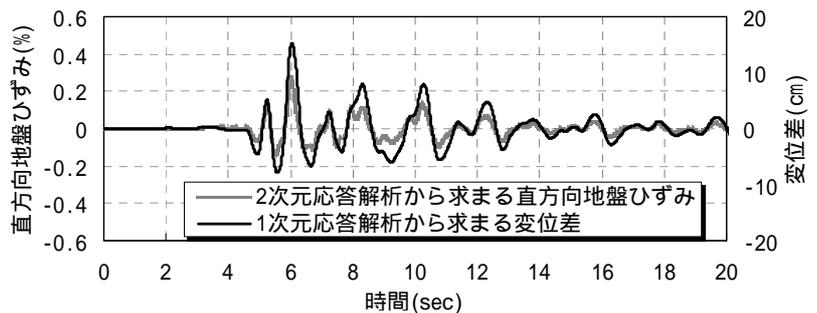


図4 1次元応答解析より求まる変位差と2次元応答解析より求まるひずみの時刻暦

#### 5. まとめ

本研究では, 種々の幾何形状を有する不整形地盤により発生する直方向地盤ひずみを2次元応答解析によらず, 1次元応答解析による結果を用いて評価する簡易な手法を考案するとともに, 実地震波により発生する超方向地盤ひずみに対する提案手法の適用性を確認した.

#### 参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 丸善, 1999.
- 2) 土木学会: 地震動のローカルサイトエフェクト - 実例・理論そして応用 -, 土木学会, 2005.