

側方流動による地盤ひずみと埋設管路の被害

濱田政則¹・秋岡義史²

¹フェロー会員 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科(〒169東京都新宿区大久保3-4-1)

²学生会員 早稲田大学大学院理工学研究科(〒169東京都新宿区大久保3-4-1)

本研究は、地震時の液状化による地盤変位から地盤ひずみを算定し、埋設管路の被害との関係进行分析したものである。兵庫県南部地震では護岸の移動に伴って地盤が大きく変位し、護岸近傍域の地盤ひずみは3%以上に達した。一方、日本海中部地震における能代市の傾斜地盤でも最大で3%を超える地盤ひずみが発生し、地盤ひずみと地表面の勾配には相関性があることが示された。兵庫県南部地震では、水道・下水道管路の継手の抜けによる被害が多数発生したが、管路の被害率と地盤の引張ひずみの間には高い相関性があることが認められた。

Key Words: Liquefaction, Ground Displacement, Ground Strain, Buried Pipe, Lifeline, Sewage System, Water Supply System

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震では液状化による地盤の側方流動に起因して大きな地盤ひずみが生じ、ライフラインの埋設管路に甚大な被害が発生した。筆者らは、1964年新潟地震、1983年日本海中部地震および兵庫県南部地震を対象に、航空写真測量によって測定された地盤変位¹⁾を用いて地盤ひずみを算定し、その発生頻度などについて考察した。また、水道・下水道管路の被害率と地盤ひずみとの相関性を分析し、さらに地盤ひずみと地割れ発生との関係についても考察した。

2. 地盤ひずみの算定と考察

(1) 地盤ひずみの算定方法と算定領域

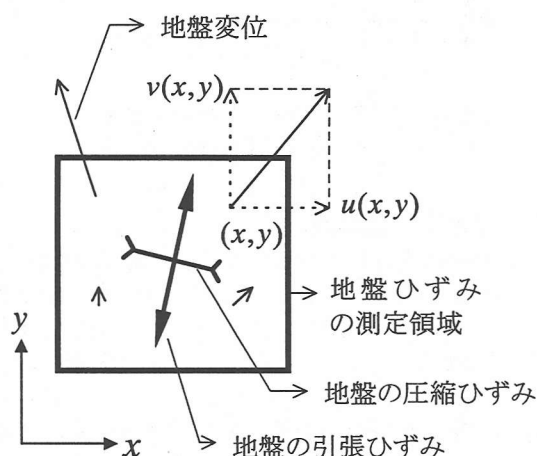


図-1 地盤ひずみの算定方法

地盤ひずみは、地震前後の航空写真測量により測定された地盤変位を用いて以下の手順で算定した。

- ①. 地盤ひずみを算定する領域を設定し、この領域内の地盤変位の関数を次式に示すように線形とする。すなわち、ひずみを算定する領域内でひずみを一定と仮定する。

$$\begin{aligned} u(x, y) &= \alpha_1 x + \beta_1 y + \gamma_1 \\ v(x, y) &= \alpha_2 x + \beta_2 y + \gamma_2 \end{aligned} \quad (1)$$

- ②. 地盤変位関数の係数 $\alpha_1 \sim \gamma_2$ を領域内で測定された地盤変位量を用いて最小二乗法により決定する。
- ③. ②より求められた係数 $\alpha_1 \sim \gamma_2$ を用いて地盤ひずみを算定する。

兵庫県南部地震では図-2に示す神戸市などの臨海部の埋立地、日本海中部地震では図-3に示す能代市の中心部を検討対象領域とした。

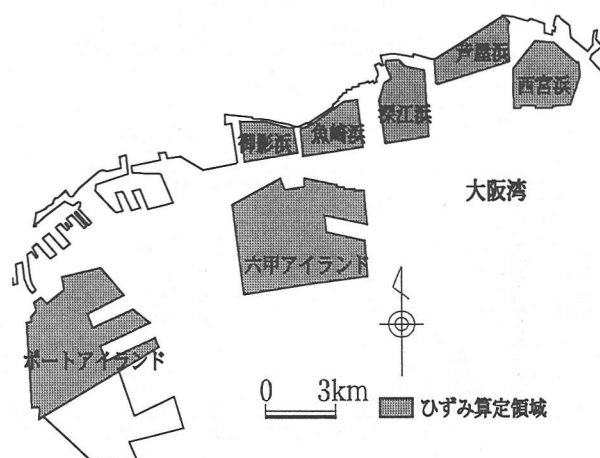


図-2 兵庫県南部地震における地盤ひずみの算定領域

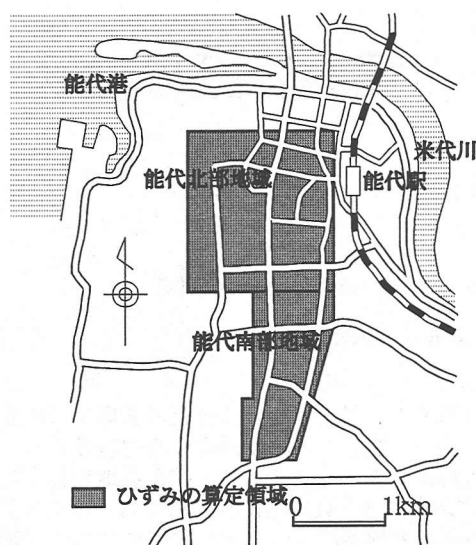


図-3 日本海中部地震における地盤ひずみの算定領域

(2) ひずみの算定メッシュの大きさの影響

図-4、5は、地盤ひずみの算定メッシュの大きさと引張および圧縮ひずみの発生頻度との関係を示す。地盤ひずみの算定メッシュが大きくなれば、引張ひずみ、圧縮ひずみとも減少する。このため、耐震設計の対象とする構造物の寸法により、地盤ひずみを算定するメッシュの大きさを適切に設定する必要がある。本論文では、算定領域を 100m メッシュとした場合の結果を示す。

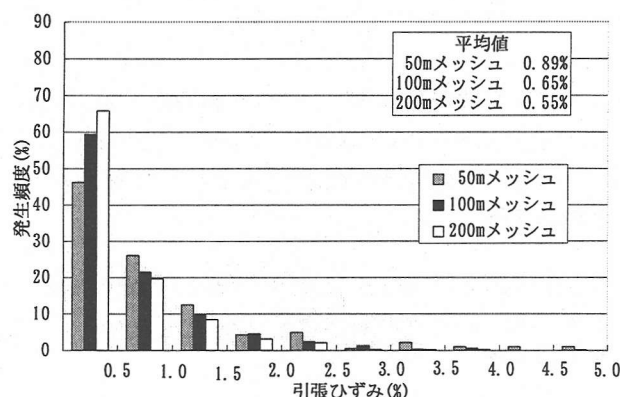


図-4 引張ひずみとメッシュサイズとの関係

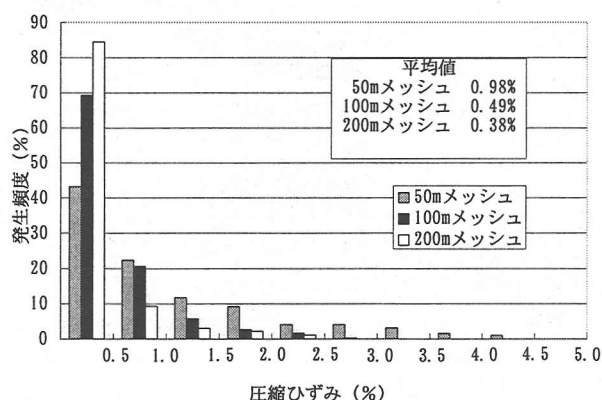


図-5 圧縮ひずみとメッシュサイズとの関係

3. 既往地震における地盤ひずみ

(1) 兵庫県南部地震

兵庫県南部地震における側方流動は護岸の移動に起因しているため、護岸に近いほど地盤変位も地盤ひずみも大きい。このため地盤ひずみの算定領域を護岸から約 100m の領域と、それより内陸側の領域とに区別して検討する。ここではそれぞれの領域を、水際部と内陸部と呼ぶ。

図-6、7にそれぞれの領域における地盤ひずみの発生頻度を示す。水際部の引張ひずみの平均値は 0.97% であり、内陸部の平均値 0.36% の約 2.5 倍である。水際部では 3% を超える引張ひずみも発生している。圧縮ひずみは、水際部と内陸部とでほとんど差がなく、約 90% の算定メッシュでひずみの大きさが 1% 以下となっている。

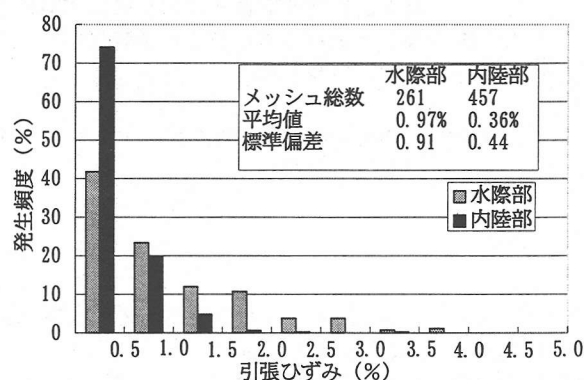


図-6 地盤の引張ひずみの発生頻度 (1995年兵庫県南部地震)

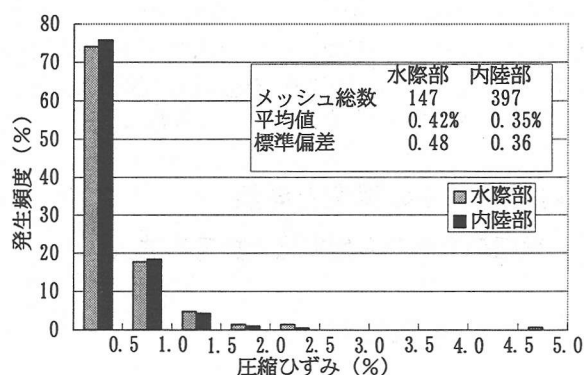


図-7 地盤の圧縮ひずみの発生頻度 (1995年兵庫県南部地震)

(2) 日本海中部地震

日本海中部地震における側方流動の最大の発生要因は地表面の傾斜であると考えられる。能代市の南部地域の地表面勾配の平均値は 1.9% で、北部地域の平均値 1.2% よりやや大きい。このため、以下の解析は北部地域と南部地域とで区別して行った。

図-8、9にそれぞれ引張ひずみと圧縮ひずみの発生頻度を示す。南部地域の引張ひずみと圧縮ひずみの平均値は 0.97%、0.80% で、北部の引張ひずみと圧縮ひずみの平均値 0.53%、0.51% の 1.5~2.0 倍となっている。引張ひずみ、圧縮ひずみとも最大値は 3% 以上に達している。

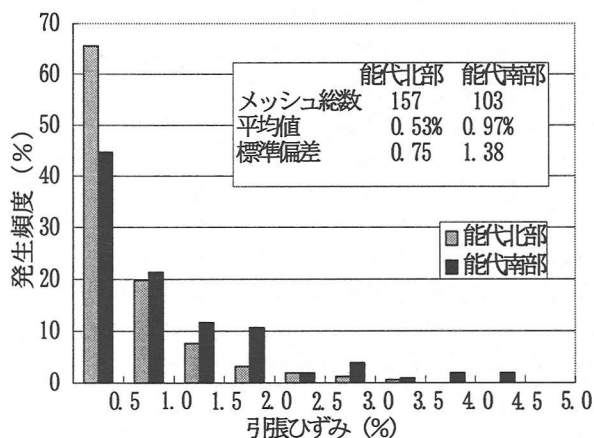


図-8 地盤の引張ひずみの発生頻度
(1983年日本海中部地震)

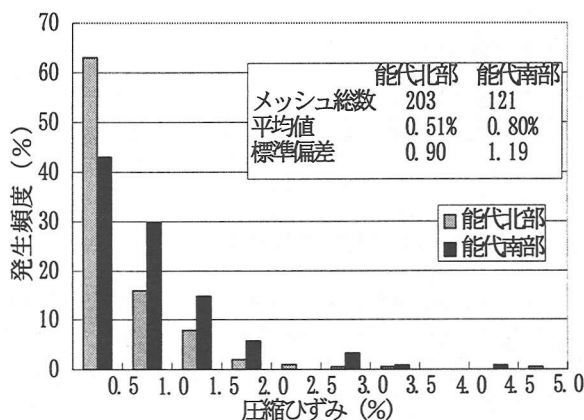


図-9 地盤の圧縮ひずみの発生頻度
(1983年日本海中部地震)

4. 傾斜地盤における地盤ひずみの特性

液状化層厚に対する地盤ひずみの比 ε_s/H と、地表面勾配 θ (%) との関係を図-10に示す。対象領域は、新潟市と能代市の傾斜地盤である。地表面勾配 θ は、地震前の航空写真測量から求められた地表面形状から、傾斜部に設定した測線に沿って読み取った。また、測線付近のボーリングデータをもとにN値15以下の飽和砂層を液状化層と判定した。図-10によれば、液状化層厚に対する地盤ひずみの比 ε_s/H と地表面勾配 θ の間にはある程度の相関性が認められる。

図-11に示すように地盤の変位分布を三角形とみなした場合の引張ひずみと圧縮ひずみの発生領域長の頻度分布を図-12に示す。引張ひずみと圧縮ひずみの発生領域長の平均値はそれぞれ260mと320mである。ただし、地盤ひずみの発生領域長は基本的に斜面の長さによるものであり、図-12の値はあくまで事例解析の対象とした地域での値であることに留意すべきである。

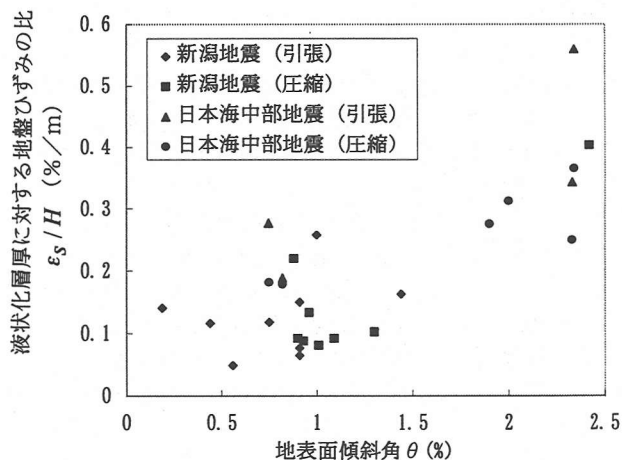


図-10 液状化層厚に対する地盤ひずみの比と地表面傾斜角との関係

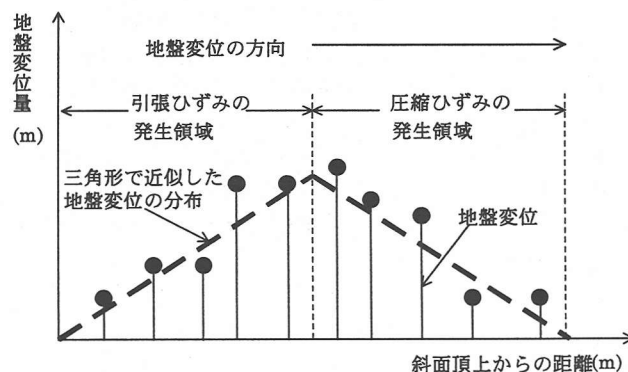


図-11 測線に沿った地盤変位分布

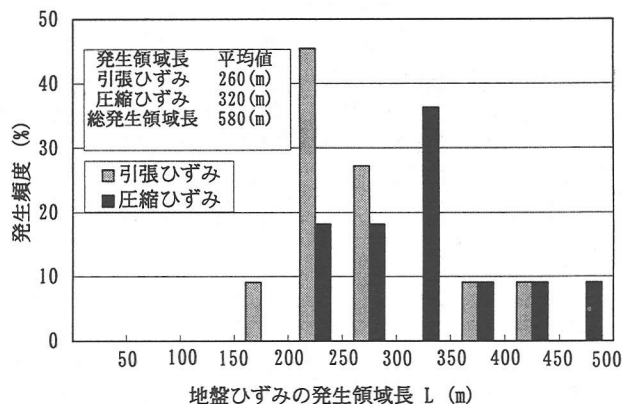


図-12 地盤ひずみの発生領域長の頻度分布

5. 埋設管路 (水道・下水道) の被害率と地盤ひずみ

水道²⁾・下水道管路³⁾の被害報告をもとに求めた管路の被害率と地盤ひずみとの関係を図-13、14に示す。管路被害の算定領域は、水道管路では六甲アイランド、ポートアイランド、魚崎浜、深江浜、芦屋浜で、下水道管

路では六甲アイランド、ポートアイランド、魚崎浜、苅藻島、長田区である。

埋設管路上で、地盤変位データのある全領域で地盤ひずみを算定し、管路の方向にひずみを変換した。データの総数は水道管路で86メッシュ、下水道管路で337メッシュである。

水道管路の被害率は被害個数を埋設管路の敷設延長距離で除したもの(個/km)とし、下水道管路では、被害が生じたマンホール間スパン数を総スパン数で除したもの(%)とである。水道管路の総延長距離は8.3 kmで、下水道管路の総スパン数は1284スパンである。

被害形態は、水道・下水道管路とも大多数が継手部での抜けであるため、地盤の引張ひずみと管路の被害率との関係を検討する。継手部での抜け以外に、水道管路では継手部での破損および突込み、下水道管路ではマンホールへの突っ込み、管周方向クラック、管軸方向クラック、垂直ずれなどが報告されている²⁾³⁾。

水道管路は A,K,T 型の継手を対象とした。下水道管路は全管種(ヒューム管、塩ビ管、陶管)を対象とした。

図-13、14に示すように、水道・下水道とも管路の被害率と地盤の引張ひずみとの間には相関性が認められる。水道管路に関して、4.0%~4.5%の地盤の引張ひずみでの被害率は35個/kmに達している。下水道管路に関しては、2.0%~2.5%の地盤の引張ひずみで約半数の管路に被害が発生している。

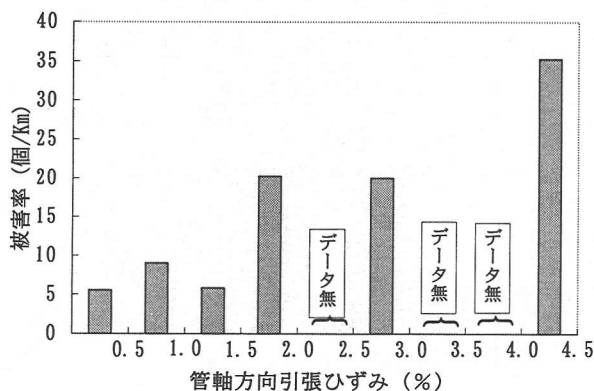


図-13 地盤ひずみと水道管路の被害率との関係

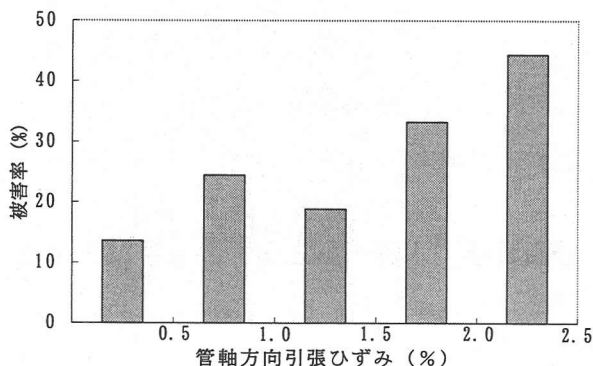


図-14 地盤ひずみと下水道管路の被害率との関係

地割れの発生は、埋設管路の被害に直接的な影響を及ぼすと考えられる。筆者らの調査によれば、六甲アイランドにおける埋設管路の被害地点のうち80%~90%の地点では、半径50m以内に地割れが生じていたことが明らかにされている。

図-15は、六甲アイランド全域における、地盤の引張ひずみとひずみの算定メッシュにおける地割れの有無の関係を示している。0.25%~1.0%のひずみでは地割れが半数以上の領域で生じ、1.0%以上では全ての領域で地割れが生じている。図の結果は、埋設管路の耐震設計において、地盤ひずみが大きい場合には地割れを考慮する必要があることを示している。

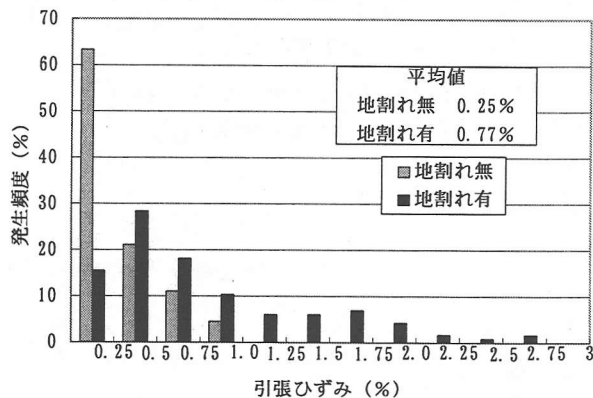


図-15 地割れの発生頻度

図-16は、六甲アイランド水際部における地割れの間隔の発生頻度を示している。地割れの間隔は10m以下が9割近く、解析を行った水際部における地割れの間隔は、ほぼ一様であることが認められた。

今後、地盤ひずみの大きさと、地割れの間隔と幅、および非液状化層厚さとの関係、さらには地割れと管路の被害との因果関係を定量的に検討していく必要がある。

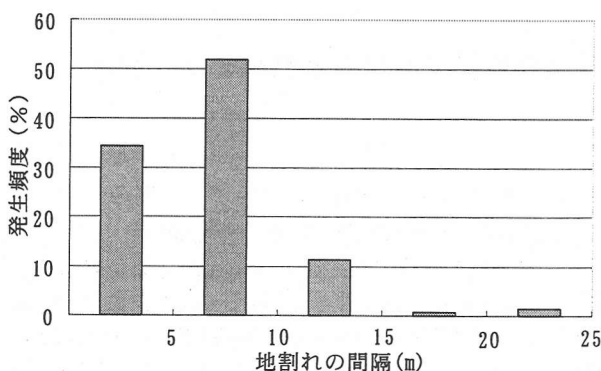


図-16 地割れの間隔の発生頻度

参考文献

- 1) Hamada, M., Isoyama, R., Wakamatsu, K.: The Hyogoken-Nanbu(Kobe)Earthquake, Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, 1995.7
- 2) 日本水道協会: 1995 年兵庫県南部地震による水道施設の被害と分析, 1996.5
- 3) 日本下水道協会: 兵庫県南部地震による下水道の被害に関する調査報告書, 1995.7

6. 地割れに関する考察