

I - B440

兵庫県南部地震における地盤ひずみと埋設管路の被害

早稲田大学大学院	学生会員	秋岡義史
早稲田大学理工学部	フェロー	濱田政則
早稲田大学大学院	学生会員	神谷誠

1. はじめに

兵庫県南部地震では、埋立地を中心に激しい液状化現象が生じた。液状化に伴う地盤の側方流動によって地盤ひずみが発生し、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、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、水道・下水道管路の被害と地盤ひずみとの関係について調べ、埋設管路等耐震設計用の地盤ひずみの設定法について考察した。さらに、地盤ひずみと地割れの関係についても考察した。

2. 埋設管路（水道管、下水道管）の被害率と地盤ひずみ

地盤ひずみと埋設管路の被害率との相関性を調査した領域は、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、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、荻藻島、長田区である。埋設管路上で地盤変位データのある全地点で地盤ひずみを算定し、管路の方向にひずみを座標変換した。図1、図2に水道⁽²⁾・下水道管路⁽³⁾の被害報告をもとに、地盤ひずみと埋設管路の被害率との関係を示す。図の横軸は管軸方向引張りひずみ、縦軸は埋設管路の被害率である。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の（%）である。被害は、継手部での抜けが大多数である。水道管路に関しては耐震継手（S, S II型）は被害が報告されてないため、A, K, T型の継手を対象とした。下水道管路に関しては全管種（ヒューム管、塩ビ管、陶管）を対象とした。

引張りひずみと埋設管路の被害率にほぼ比例関係が認められた。水道管路に関して、4.0%~4.5%の引張り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%の引張りひずみで半数の管路に被害が発生していることが分かる。

3. 埋設管路（水道管、下水道管）の被害確率の低減

今後の埋設管路の耐震設計では、側方流動による地盤ひずみを考慮する必要がある。地盤ひずみと埋設管路の被害率との関係をもとに、設計用入力地盤ひずみの設定法について考察する。解析で求められた地盤ひずみの発生頻度（図3）をもとに、地盤ひずみの確率密度関数を $f(\varepsilon)$ とする。一方、地盤ひずみと埋設管路の被害率との関係を関数 $p(\varepsilon)$ とする（図1、図2）。設計用地盤ひずみを ε_d に設定した場合の地盤ひずみと埋設管路の被害率との関係を図4に示すように $p'(\varepsilon)$ とする。すなわち ε_d までの被害率が0として、関数 $p(\varepsilon)$ を平行移動した関数と仮定する（図4）。設計値設定以前の管路の被害確率 P_0 は式1のように示され、設計値設定以後の被害確率 P_n は式2で示される。 P_n を P_0 で除した低減率（式3）が設計値 ε_d に対する評価を示す。

$$\text{設計値設定以前の被害確率 } P_0 = \int_0^{\infty} f(\varepsilon)p(\varepsilon)d\varepsilon \cdots \cdots (1)$$

$$\text{低減率 } e = P_n / P_0 \cdots \cdots (3)$$

$$\text{設計値設定以後の被害確率 } P_n = \int_{\varepsilon_d}^{\infty} f(\varepsilon)p'(\varepsilon)d\varepsilon \cdots \cdots (2)$$

設計用地盤ひずみを1.0%（非超過確率70%）、1.5%（非超過確率90%）にした場合に期待できる被害低減率を表1、表2に示す。設計値を1.0%以上にすれば被害確率が1割程度に低減することが分かる。

4. 地割れに関する考察

地盤ひずみが増大すると地割れが発生することが予想される。図5は、六甲アイランド全域における、地盤の引張り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のメッシュで生じ、1.0%以上では全てのメッシュで地割れが生じている。図の結果は、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6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以下が大多数であり、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との関係、さらには埋設管路の被害との因果関係を定量的に明確にしていく必要がある。

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

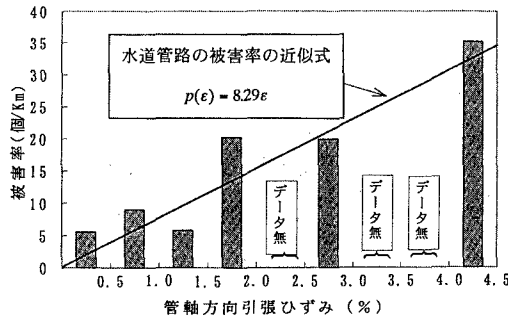


図1 水道管路の被害率

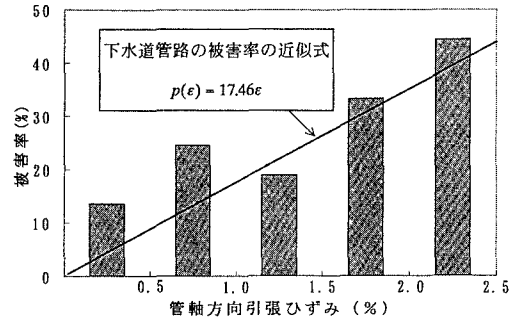


図2 下水道管路の被害率

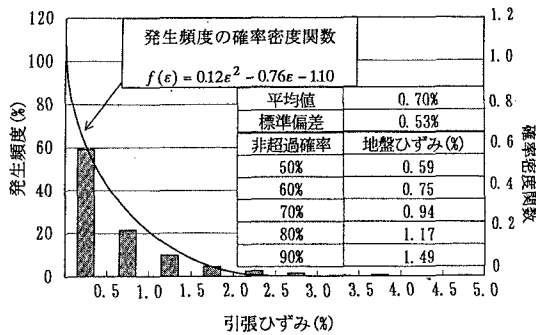
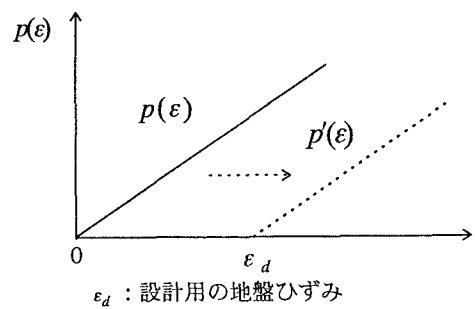


図3 地盤ひずみの発生頻度分布（神戸の埋立地）



$p(\epsilon)$: 設計値設定前の被害率(既設管路)
 $p'(\epsilon)$: 設計値設定後の被害率(新設管路)

図4 設計値設定前・後の被害率

表1 水道管路の被害確率の低減

設計値	被害確率 (個/Km) (設計値設定以前)	被害確率 (個/Km) (設計値設定以後)	低減率
1.0%	5.81	0.94	0.16
1.5%	5.81	0.22	0.04

表2 下水道管路の被害確率の低減

設計値	被害確率 (%) (設計値設定以前)	被害確率 (%) (設計値設定以後)	低減率
1.0%	12.24	1.99	0.16
1.5%	12.24	0.46	0.04

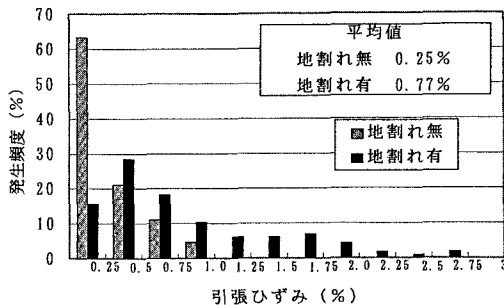


図5 地割れの発生頻度

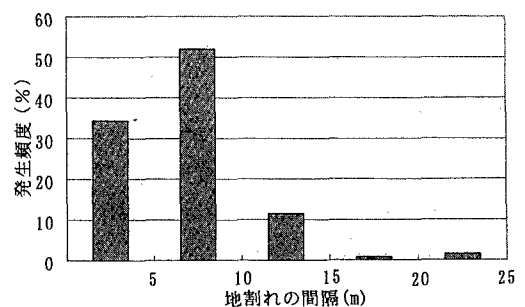


図6 地割れの間隔の発生頻度