

○神戸大学大学院 学生員 前田俊宏 神戸大学工学部 フェロー会員 高田至郎  
 (株)栗本鐵工所 正員 辻野洋慶 住友金属工業(株) 正員 棚橋隆司

**1. はじめに** 1995年1月17日に発生した阪神大震災により、各施設には大きな被害が発生した。とくにライフライン施設など、重要な都市基盤施設は壊滅的な被害を受けた。これらの被害の中でも注目されるのが液状化地域における被害である。本研究では、阪神大震災におけるポートアイランドの地盤の永久変位より、表層における地盤ひずみを推定し、上水道配水管の被害の発生プロセスについて考察を行う。

**2. ひずみ分布の推定手法** 本研究では、静的な有限要素法を使用して永久変位ベクトルからひずみ分布の作成を行う。ここでは、変位図の1ベクトルの始点を1節点としてアイソメトリック要素を作成し、各要素内の任意の点におけるひずみを形状関数を用いて推定する。また、要素内の各任意点の形状関数( $\xi, \eta$ )は数値探索法によって求める。推定される形状関数( $\xi, \eta$ )の許容誤差は、本解析では0.002とする。これは実地盤上ではおよそ±15cmにあたり、元データの信頼性が±14cm程度であるのと比較して十分に有効である。また、管路網図上の任意点のひずみを管路系局部座標に変換し、管路方向のひずみ分布を推定する。

本研究でのひずみの推定手法は、地盤の永久変位よりひずみを求めるものであり、その計算は弾性を仮定して行っている。実地盤状においては多くの場合、約1%以上のひずみの発生により地盤内にクラックなどを生じる。このため実地盤における弾性仮定で計算可能な範囲は、高々1%~2%程度までと考えられる。しかし本解析においてはひずみ算出の対象メッシュが細かいため、たとえクラックが発生しても他のメッシュでの推定ひずみにおけるその影響は小さいことから、明らかに崩壊した岸壁を除き、弾性解析であることによる影響は少ないと考える。

### 3. ポートアイランドの表層地盤の主ひずみ分布

本研究では変位ベクトルデータとして、濱田、磯山、若松により作成されたポートアイランドの表層地盤の永久変位ベクトル図を使用する。<sup>3)</sup> この永久変位ベクトル図は、航空写真より地盤変位を±14cmの精度で判別し、4000分の1の都市計画図に160分の1縮尺で変位ベクトルを記入したものである。これをもとにポートアイランド内の50mメッシュの各点における主ひずみとその方向を推定した。推定した主ひずみの分布をコンター表示したものを図1に示す。図1より、阪神大震災によりポートアイランドでは岸壁を中心としてほぼ全域にわたり0.5%以上のひずみを生じていることが知られる。とくに岸壁においてはその崩壊の影響も含めて大きな地盤ひずみの発生がうかがえる。また、島内部に入った居住地域において

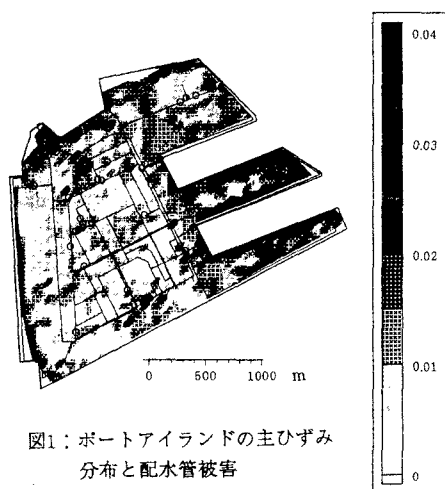


図1：ポートアイランドの主ひずみ分布と配水管被害

では岸壁付近のような崩壊に伴う大きなひずみはみられないものの、全域において0.5%程度のひずみが発生し、大きなところでは3%以上のひずみも生じていることがわかった。これらは、ポートアイランドの全域で噴砂が確認されていることから、明らかに液状化による影響であるとおもわれ、島内部においても大規模な液状化により、部分的に大きなひずみの発生していることが示された。またひずみの発生方向の推定結果から、岸壁付近では岸壁の崩壊に伴い岸壁と垂直をなす方向にひずみを生じ、岸壁付近の地盤の海側への流動が知られる。また、岸壁の崩壊による周辺地盤の影響は、大きなところで岸壁から約200m、平均的には約

Toshihiro MAEDA, Shirou TAKADA, Hiroyoshi TSUJINO, Takashi TANAHASHI

50m~100mであることがわかった。

また図1より、配水管被害は崩壊した岸壁付近には集中して生じていないことがわかる。これは、岸壁が一樣に海側に向けて崩壊したことによりその周辺では岸壁と垂直な方向に地盤の流動が生じ、岸壁に沿って配管されている配水管の軸方向へのひずみの発生が少なかったからと考えられる。液状化地域においては、非液状化地域に比べ継手の抜けや緩みなどの継手被害が多発している。これは液状化地盤の流動に伴い地中管路には流動した地盤から面的な外力が加わるが、この外力に対し管体自体はその外力に耐えうるが、継手部においてはとくに軸方向の引張力に対して耐えることができず離脱などが発生するものと考えられる。本解析において、管軸直角方向へのひずみが大きく発生している岸壁付近でほとんど被害のみられないことから、このような被害メカニズムが推測できる。また島内部における配水管の被害位置をみると、主ひずみの分布が周辺よりも高いところで被害が発生している。居住地域においては、主ひずみが1%~15%以上の地域で配水管被害が多発しており、配水管被害が大規模な液状化に伴う地盤の流動によりひずみの集中した場所において発生することが示された。

**4. 管路別ひずみ分布と被害の関連** 各管路ごとの延長に沿ったひずみ分布を図2に示す。図2より各被害の発生位置とひずみの関係を見ると、多くの被害位置において管軸方向ひずみは1%以上になっていることがわかる。これらの結果より、配水管被害の発生と管軸方向の引張ひずみおよび管軸直角方向のひずみの間にはやや相関が見られ、管軸方向の鉛直せん断ひずみと配水管被害の発生の間には、ほとんど相関が見られないことがわかる。

以上の推測されたひずみを集計し、図3に配水管被害率とひずみの関連を示す。図3によると、ひずみと被害の相関の最も高いのは管軸方向引張ひずみであり、管軸方向引張ひずみが約1%のとき被害率は30箇所/km程度になることがわかる。また管軸直角方向ひずみについてもやや相関が見られるものの、それほど大きくはない。また管軸方向鉛直せん断ひずみについては、被害率とほとんど相関のないことがわかる。

ポートアイランドにおける配水管被害はその8割以上がダクタイル鋼管のメカニカル継手の離脱や緩みなどの継手被害であり、これらは液状化による影響が大きいと思われる。図3より、ダクタイル鋼管が液状化発生時において管軸方向、あるいは管軸直角方向に2%~3%の大きなひずみを生じて管体自体は破損しないが、メカニカル継手は地盤の管軸方向引張ひずみが1%~2%程度になれば、大きな被害を生じることがわかった。

**5. まとめと今後の展開** 阪神大震災におけるポートアイランドの永久地盤変位からひずみ分布を作成した。ポートアイランドでは地震により全域で液状化が発生し、地盤変位は全域に約1%以上の値で生じていることが示された。また、ポートアイランドにおける配水管の被害原因が、メカニカル継手が管軸方向引張ひずみに耐えることができなかった結果生じたものであることを検証し、その管軸方向引張ひずみは、1%~2%であることが明らかになった。これにより、人工島などの液状化しやすい地盤における地中管路のとくに継手に対する耐震化の必要性が改めて示された。

<参考文献> 1) Masanori H etc.: The 1995 Hyogoken-Nanbu(Kobe) Earthquake Liquefaction, Ground Displacement and Soil Condition in Hanshin Area, 1995.

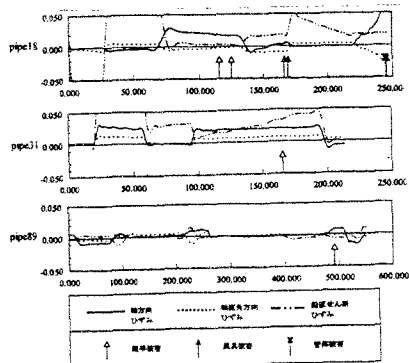


図2：管路別ひずみ分布と被害位置

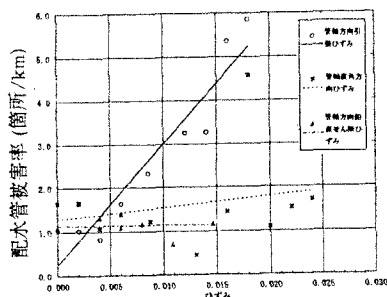


図3：ひずみと配水管被害率の関連