

神戸市下水道局 正会員 浜口 哲男
 中央復建コンサルタンツ(株) 正会員 鳥田 敏行
 中央復建コンサルタンツ(株) 正会員○上田 隆

1. はじめに

神戸市東灘区の下水道圧送幹線である六甲アイランド連絡汚水幹線（以下、六甲幹線と略記）は、平成7年兵庫県南部地震の発生により損傷を受けた。六甲幹線は六甲アイランドの向洋ポンプ場と東部第3工区の東灘処理場とを結んでいるが（図-1）、このうち、海底下を横断するシールドトンネルと両埋立地の管理用立坑の、地震による損傷状況と損傷メカニズムについて述べる。

2. 施設概要

六甲幹線の施設概要を図-2に示す。

シールド工法により築造された内径2400mmのトンネルの内部には、汚水圧送管（ $\phi 800$ mmのダクトイル管）と処理水圧送管（ $\phi 500$ mmの鋼管）を布設してある。セグメントは、鉄筋コンクリート製であり、二次覆工は施していない。なお、埋立地の残留沈下への対策として管理用立坑とシールドトンネルの接続部には可とうセグメントを設置している。

管理用立坑はシールド工法の発進立坑と到達立坑として利用されたもので圧入式オープンケーソン工法により施工されている。

当初の設計ではシールドトンネルと管理用立坑での耐震設計は行われていない。「下水道施設地震対策指針と解説」¹⁾でも、管路施設の耐震設計については、規定されておらず、一般に下水道管路施設において耐震設計が行われることは少ない。

3. 損傷状況と補修

シールドトンネルには、下水道幹線としての機能を損なうような損傷は認められなかった（表-1）。シールドトンネルのほとんどが洪積層に埋設されていたことが被害の少ない理由の1つと考える。

管理用立坑とシールドトンネルの接続部でも特別の被害はない。ただ可とうセグメントは、最大47mmのトンネル軸方向の縮み変位（許容値50mm）を生じており、可とうセグメントの存在が結果的に接続部での耐震性向上につながった可能性が高い。

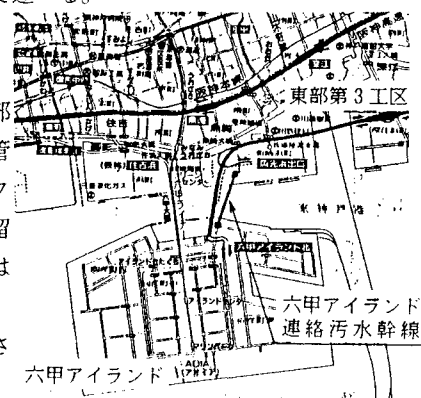


図-1 位置図

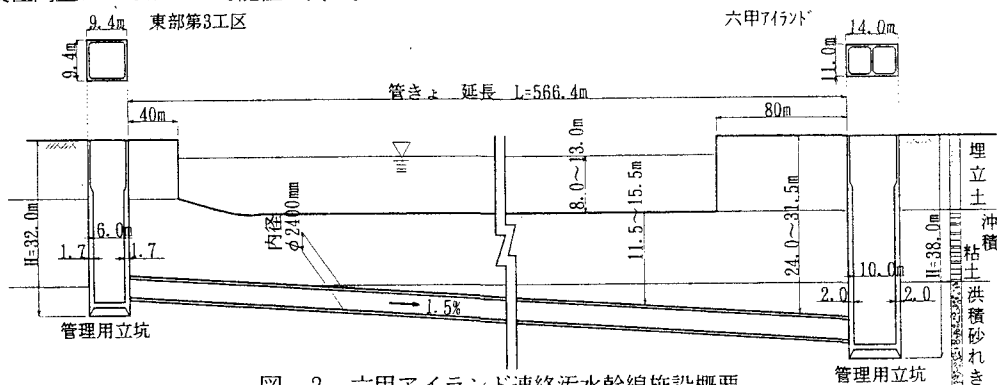


図-2 六甲アイランド連絡汚水幹線施設概要

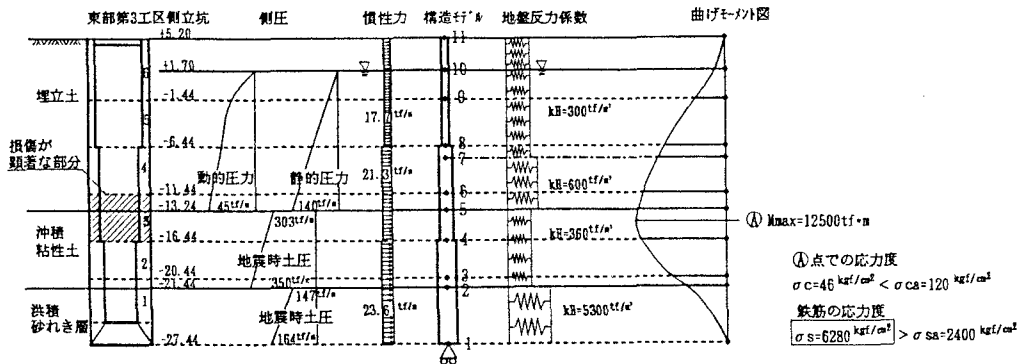


図-3 管理用立坑の数値解析モデル

管理用立坑の被害は、地上から15～20mの位置での損傷が顕著である(表-2)。これに対して補修は、管理用立坑内部からひび割れにはエポキシ樹脂の注入、コンクリートのはく落部にはコンクリート打継ぎを行う計画である。ただし補修工法の信頼性確保のため、管理用立坑の周囲に柱列式連続地中壁(SMW)を打設し止水壁とした。

4. 管理用立坑損傷のメカニズム

管理用立坑の被害の原因は、洪積層に下部を支持され片持ちばり状態となった立坑の上部に、埋立土護岸の変位と埋立土の液状化による側方流動圧が作用したことと考える。これを検証するため東部第3工区の実管理用立坑を例にとり、数値解析を行った(図-3)。

地盤反力係数 k_H 、地震時土圧は道路橋示方書²⁾に従って求め、埋立土の液状化と側方流動の影響を考慮するため、Westergardの近似式から求めた動的圧力を作用させ、埋立土の地盤反力係数の低減を行った。

数値解析結果は、損傷が顕著であった地上から15～20m付近の鉄筋の応力が許容値の約2.6倍を示しており、片持ちばり状態となった立坑の損傷状況をよく表している。

5. 今後の対応

以上述べた被害状況と損傷メカニズムから、計画路線選定の際には、護岸変位の影響が少なくなるように護岸と立坑との離隔を大きくとることが重要と考える。護岸変位の影響範囲については、今後、有限要素法を用いた時刻歴応答解析等のシミュレーション解析により明確にする必要がある。

6. おわりに

下水道管路施設ではこれまで耐震設計が行われることは少なかったが、立地条件によっては地震に対する特別の配慮が必要ながわかった。今後、護岸からの離隔等の条件を明確にし、計画・設計に取り入れていく必要がある。

参考文献

- 1) 日本下水道協会：下水道施設地震対策指針と解説。1981年版
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，V耐震設計編，平成2年2月

表-1 シールドトンネルの主な被害

損 傷	数 量	備 考
シールド材の飛び出し	38ヶ所	にじみ程度の浸入水
ボルトボックス跡埋め部のはく離	62ヶ所	
セグメントのひび割れ	2ヶ所	幅0.1mm 総延長1.6m

表-2 管理用立坑の主な被害(東部第3工区)

損 傷	数 量	備 考
ひび割れ	幅 0.2~1.0mm	50ヶ所(140m)
	幅 1.0~2.0mm	4ヶ所(9m)
	幅 2.0mm以上	6ヶ所(55m)
施工継手部の水平ずれ	25mm	地上から15~20mの位置