

Keywords | 取水工、耐震性能照査、地震応答解析、固有値解析、ALID、応答変位法

地域地震動特性および地形影響を考慮した 取水施設の耐震性能照査

鈴木 健
設計計画本部 社会基盤部 保全技術・構造系グループ
(技術士補)
suzuki@shinnihon-cst.co.jp

古野 昌吾
設計計画本部 社会基盤部 保全技術・構造系グループ 課長
(技術士 建設部門一道路/RCCM—鋼構造及びコンクリート)
furuno@shinnihon-cst.co.jp

1 はじめに

(1) 東総用水施設の概要

東総用水は、昭和56年に事業を開始し、1級河川黒部川から農業用水2.235m³/sおよび水道用水0.804m³/sを千葉県東庄町、銚子市、旭市の2,804m²に供給するものである。図-1に東総用水概要図を示す。図中の黄色着色が東総用水施設である。東総用水施設は、取水口1基、水路延長約37km等で構成される施設である。表-1に構造物の名称及び規模数量を示す。

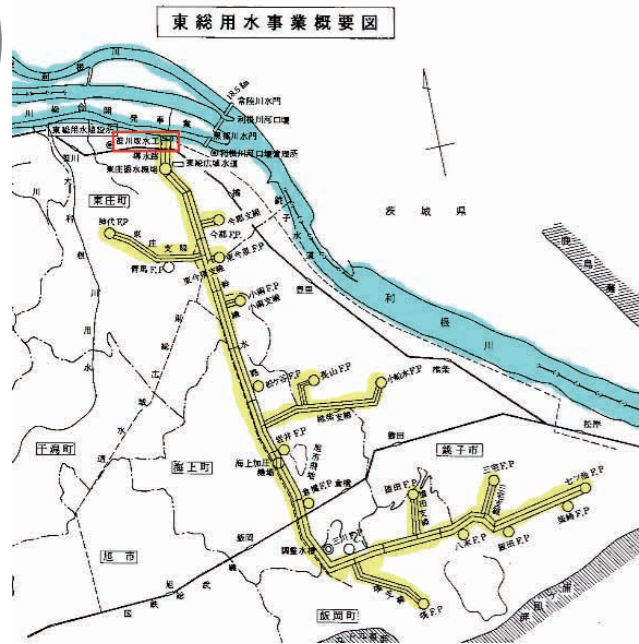


図-1 東総用水事業概略図



写真-1 笹川取水工(全景)

表-1 東総用水施設を構成する構造物

名称	規模	数量
笹川取水工	取水量 3.04m ³ /s 取水口 W4.2m×H2.6m 開水路 W1.8m×H1.6m 樋管2連 沈砂池 W5.0m×H4.4~6.7m×2連	1基
導水路	トンネル及び管水路 : φ1,800mm	0.8km
幹線水路	φ1,200mm~200mm S.P, PCP, DP, AP	21.0km
支線水路	φ600mm~200mm PCP, DP, AP	15.0km
東庄揚水機場	横軸 うず巻ポンプ φ600×400mm×80m×44.7m ³ /min 横軸 斜流うず巻ポンプ φ300×300mm×11m×12.06m ³ /min	3台 5台 (内1台予備)
海上加圧機場	横軸 うず巻ポンプ φ700×600mm×25m×60.9m ³ /min	1台
ファームpond	R C 貯水量2,800~4,300m ³	18箇所
末端加圧機場	横軸 片吸込うず巻ポンプ	3台
飯岡調整水槽	P C 総貯水量8,670m ³ φ20m H30m	1基

(2) 耐震性能照査の重要性

対象地域の土壌は火山灰性で保水力に乏しく、東総用水施設の竣工前は、早魃^{かんばつ}の被害を受けやすく、生産性の低い農業が営まれており、生活用水についても大部分の住民は浅井戸を利用していたため、地下水の枯渇や水質の汚染など、利水面で不安定な生活を送っていたと記録される。上記より、東総用水施設は黒部川を水源として、農業経営の安定化と合理化、環境衛生の向上と住民福祉の増進を図ることを目的として計画されたものである。

本業務の対象施設である笹川取水工は、東総用水施設の中で最も上流に位置し、本施設が震災に見舞われて取水困難な状況になった場合、下流への用水供給に著しい支障をきたすため、非常に重要な施設であり、対策重要度は最も高いカテゴリにランク付けされている。

当該施設周辺において今後30年間のうち震度6弱以上の地震が発生する確率は、26%以上¹⁾とされており、施設重要度を考慮すると、耐震性能照査の重要性は高いといえる。図-2に笹川取水工の全体図を示す。

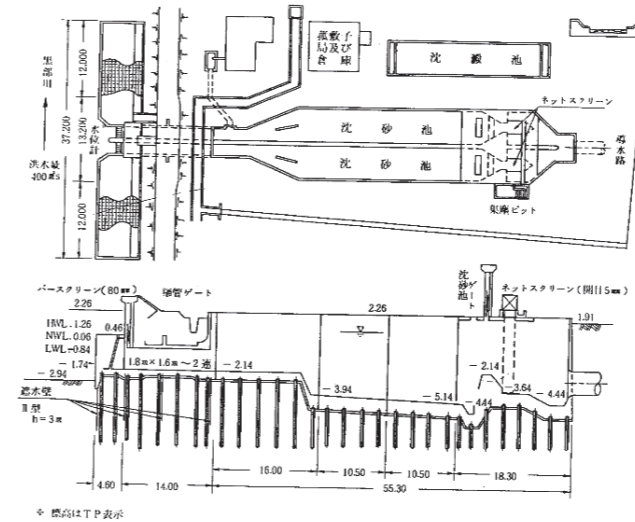


図-2 笹川取水工全体図

2 耐震性能照査における課題

耐震性能照査を行う上での課題を以下に示す。

(1) 設計地震動について

照査に使用される設計地震動(レベル2地震動)は多くの場合、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震等の地震観測記録を考慮した地震動が使用される。これらは我が国の観測以来、最大規模の地震動であるため、施設近傍で起こりうると想定される地震よりも過大な検討となり、広域に敷設された施設を考慮すると膨大な工事費を要すことから、現実的な対応策ではないと考える。このため、設計地震動に地域特性を組み入れることが課題のひとつと考える。

(2) 照査手法について

対象施設は開水路、堤防樋管、沈砂池、制水門扉、杭基礎で構成され、地盤は軟弱であり、検討した結果、液状化地盤であった。

また、本施設は一部築堤内に敷設されており、堤体形状が複雑なため、縦断方向の杭基礎照査において静的解析では堤体の荷重および不均一な地層の流動を考慮する必要がある。一方で、動的解析は照査精度が高い利点があるが、土質定数等のパラメータを設定する必要があり、地質調査の実施から行う必要があった。

3 課題への対応

(1) 設計地震動について

検討地域に影響を及ぼすと想定される地震を設定するために、地域特性を考慮した地震動の設定を行った。具体的には、対象施設の近傍で発生が想定される「プレート境界型地震」および「直下型地震」を抽出し、対象施設に多大な影響を及ぼすと想定される地震の応答スペクトルを設定することとした。想定地震は、内閣府中央防災会議および千葉県地域防災計画で検討された、「近い将来に発生するおそれがあり、施設に影響を及ぼすおそれのある地震」とされる下記5つの地震を抽出した。^{2),3)}

- ① 三浦半島断層群による地震
- ② 茨城県南部地震
- ③ 成田直下型地震
- ④ 東京湾北部地震
- ⑤ 千葉県東方沖地震

抽出された想定地震波を基に地震応答解析を行い、各想定地震が発生した場合に施設で生じる応答スペクトルを算出した。これらのスペクトルを包括する設計地震動を設定することで、設計地震動は地域特性を考慮した地震動となる。なお、複数の地震が同時に発生する確率は極端に低いことや想定地震波を重ね合わせることの妥当性は確認できないため、単体で地震が発生した場合を想定した。

表-2に設計地震動に用いた地震データの概要を示す。表中には中央防災会議および地域防災計画で検討された三浦半島断層群による地震はマグニチュードに差異があるが、推定した震源深さや推定手法が異なることから、差異が生じている。

図-3に想定地震の震源位置(概略)を示す。対象施設周辺では茨城県南部地震、成田直下型地震、千葉県東方沖地震が近傍にある。図-4に設定した設計スペクトルを示す。設定した設計スペクトルは500galとなり、施設の固有周期は固有値解析により求めた結果、約1秒となるため、気象庁震度階級に換算すると震度6強の地震相当となる。

表-2 設計地震動の検討に用いた地震データ

検討対象	想定地震名	マグニチュード ^{※1}	震源深さ(km)	地震タイプ	推定手法
中央防災会議 「首都直下地震 対策専門調査会」	三浦半島断層群 による地震	7.2	6.5(断層上端)	活断層	統計的グリーン関数 による波形計算 (加速度波形の計算)
	茨城県南部地震	7.3	— ^{※2}	プレート境界	
	成田直下の地震	6.9	5.0(断層上端)	仮想の断層帯	
千葉県 「地域防災計画」	東京湾北部地震	7.3	27.8	プレート境界	ハイブリッド法 [差分法+統計的 グリーン関数法] (加速度波形の計算)
	千葉県東方沖地震 ^{※3}	6.8	43	プレート内部	
	三浦半島断層群 による地震	6.9	14.4	活断層	

※1.気象庁マグニチュード

※2.首都直下地震専門調査会(第12回)に提出された溝上委員の資料(地震WG報告書・図表集)の表には記載なし。

※3.1987年12月17日に発生した千葉県東方沖地震による実観測データではない。



図-3 想定地震動の震源位置図(概略図)

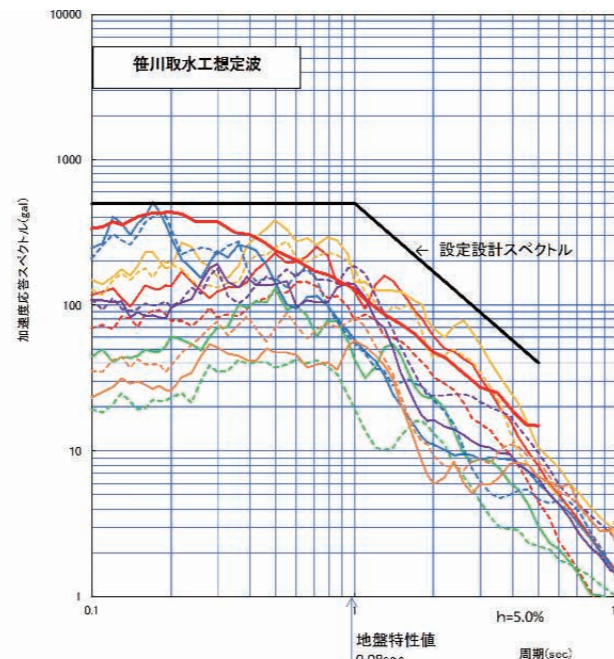


図-4 設定した設計スペクトル

(2) 照査手法について

対象施設における縦断方向の検討は、堤体の荷重および不均一な地層の流動を考慮するため、「有限要素法を用いた自重変形解析(ALID)」を用いることで、盛土影響および地盤の流動を考慮できる地盤モデルを作成した。これにより、得られた変位を考慮した応答変位法(梁-バネモデル)による解析を行った。図-5・図-6に自重変形解析に用いた地盤モデルを、図-7に

地震により生じる地盤変位を、図-8に応答変位法に用いた施設の梁-バネモデルを示す。モデルの左側が河川であり、地形の特性から河川側へ流動する結果となった。自重変形解析で得られた河川側への変位を応答変位法に加味することで、通常の照査では評価できない影響を静的解析で考慮できた。

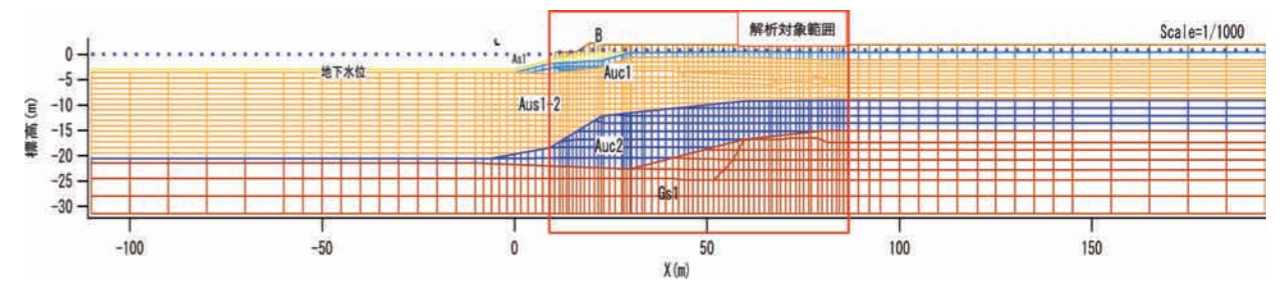


図-5 自重変形解析に用いた地盤モデル(全体図)

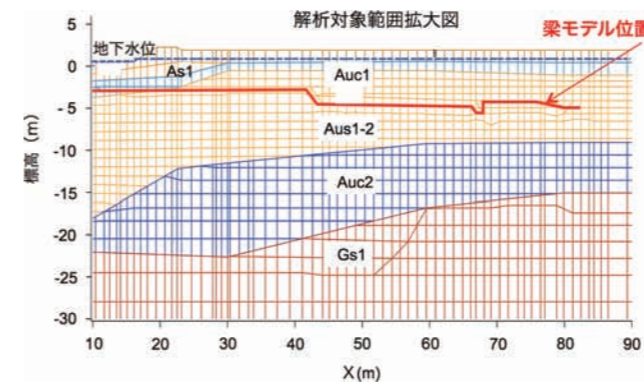


図-6 自重変形解析に用いた地盤モデル(拡大図)

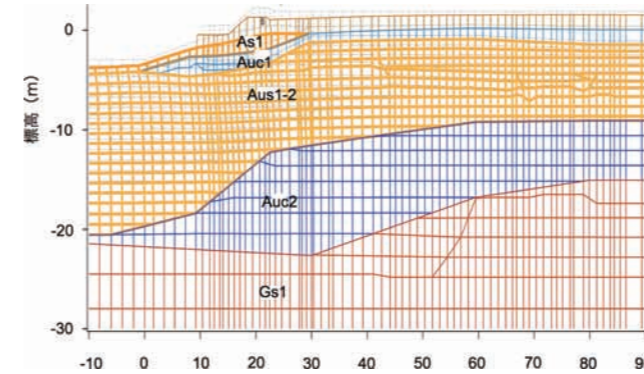


図-7 自重変形解析で算出された地盤変位

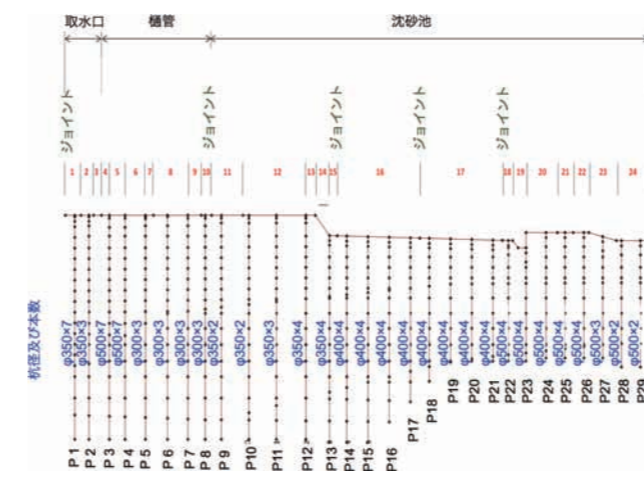


図-8 応答変位法に用いた縦断モデル

4 おわりに

設計地震動に地域地震動特性を考慮することで、照査対象施設に影響を及ぼすと想定される地震動を設定した。これにより、施設に求められる耐震性能を精度よく照査することができた。

また、築堤内に敷設された杭基礎構造物の耐震性能照査として、盛土地盤の影響を考慮するために自重変形解析を行ったことで、通常の応答変位法では評価できない変位を評価できた。

ただし、本検討は内閣府等により整理された想定地震を基に検討を行ったものである。地震に対する安全性は着実に確保されてきているが、先の熊本地震など未だ「想定外」の災害が発生しており、精度よく地震を予測することは困難である。また、現在の計算技術ではコンクリート構造物の損傷を考慮した照査は困難であり、竣功時の状態を仮定した照査が主流である。代表的な今後の課題として、下記の3点が挙げられる。

- ① 想定される地震自体の精度を向上させる。
- ② 縦断方向の地震波動の伝達メカニズムを明らかにする。
- ③ 構造物の損傷を考慮した照査手法を確立する。

謝辞：本業務の遂行にあたり、独立行政法人水資源機構千葉用水総合管理所(管理課、東総管理所)の皆様にはご指導・ご支援を賜り、職員の皆様にご心より感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) J-SHIS MAP: 地震ハザードステーション, H28.8時点
- 2) 地震ワーキンググループ報告書: 内閣府・中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」, H16.11
- 3) 千葉県地域防災計画 第2編 地震・津波編, 千葉県・防災計画課, H24.8