

(Ⅵ-21) 常陸那珂火力発電所取水管への限界状態設計法の導入

東京電力株式会社 常陸那珂火力建設所 発電土木グループ
東京電力株式会社 常陸那珂火力建設所 発電土木グループ
東京電力株式会社 建設部 土木建築技術センター
東電設計株式会社 地盤構造部

正会員 田中 英朗
〇正会員 橋本 淳
正会員 津田 守
正会員 川島 正史

1. はじめに

常陸那珂火力発電所は、茨城県がひたちなか市と東海村に跨る海岸線に計画している常陸那珂港湾区域の北埠頭内に、当社が建設中の出力100万kW×2基、計200万kWの石炭専焼火力発電所である。

一般に、火力発電所では、発電用高圧蒸気を冷却する海水を復水器まで圧送する取水管が設置されており、従来はWSP（日本水道鋼管協会）¹⁾などの基準に準拠して、Spanglerの土圧モデルに基づき、許容応力度法により設計されている。しかし、Spanglerの土圧モデルは、管の剛性や地盤の種類にかかわらず土圧分布を一樣にしているなど実現象とかけ離れた分布となる場合が多いことが明らかにされており²⁾、そこで、常陸那珂火力発電所の取水管では、限界状態設計法の導入、構造解析手法の高度化により設計合理化を図った。

本論文では、今回適用した設計手法および管布設後実施した現場計測の結果について紹介する。

2. 取水管の構造

常陸那珂火力発電所の取水管は、図-1に示すように、内外面に塗装を施した内径2,800mmの鋼管であり、土被りが1,500mm～2,450mmとなる範囲に埋設される。

また、取水管周辺の埋戻しでは、管下鋭角部の埋戻しを確実にを行うために、管中心以深については購入砂による埋戻し、管中心以浅については現地発生土による埋戻しを行うこととしている。また、設計地盤剛性は、先行地点の測定結果をもとに、ばらつきを考慮して安全側に設計地盤剛性=70kgf/cm²としている。

3. 設計手法の合理化

取水管への限界状態設計法の適用に当たっては、以下の項目について検討を行った。その内容を以下に示す。

①保証機能の明確化

取水管に求められる機能は、「作用するすべての荷重条件下のもと、所定の運用水準で冷却水を通水する機能」である。そこで、今回の設計では、表-1に示すように、各荷重ケース（通常時、建設保守時、レベル1地震時、レベル2地震時）に応じて、必要機能の保証水準を明確にした。特に、地震時については、地震の規模や発生回数を考慮して2つの地震時を設定し、

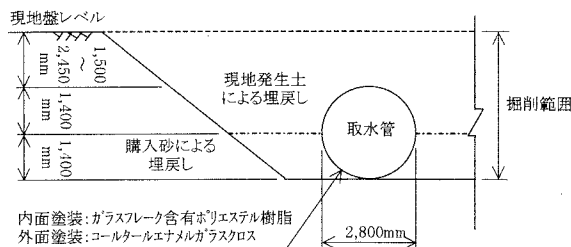


図-1 取水管の構造断面図

発生確率が極めて低いレベル2地震時については、一定の損傷を許容して通水機能のみ確保するものとした。

②限界状態の設定

前節に示した保証機能に応じて、表-1に示すように、「終局限界状態」、「使用限界状態」について取水管の照査に必要な限界状態を設定した。特に、レベル2地震時については、終局限界状態を合理的な設計の観点から塑性ひずみを許容する全塑性を限界状態としている。また、使用限界状態に関しても従来設計では、内面塗装の変形性能より設計撓み率を3%としていたが、内面塗装の変形性能に関してモデル実験を実施し、設計撓み率を5%に緩和した。

③部分安全係数の設定

部分安全係数は、設計における各段階での不確実性を要因別に分類し、表-2に示すようにコンクリート標準示方書に準拠した5種類の係数を設定した。設定に当たっては取水管固有の条件を考慮し、最適な値となるように設定を行い、その結果、終局限界状態における安全裕度は、従来の許容応力度法1.79に対して、1.33となり、3割程度低減した。

④構造解析手法

前述のとおり、従来設計法で用いてきたSpanglerの土圧分布は実現象とかけ離れた分布となる場合が多いため、今回の設計では、構造解析手法として、管と地盤の挙動を高精度にシミュレートできる2次元FEM解析手法を用い設計を行った。

4. 設計結果

上記の新設計手法を適用した結果、常陸那珂火力発電所・取水管の管厚は、エリア毎の荷重ケースに応じて、従来設計法で管厚14～35mmであるのに対し、新設計手法

キーワード：火力発電所、取水管、限界状態設計法、FEM解析

連絡先：茨城県那珂郡東海村768番23 東京電力株式会社 常陸那珂火力建設所

表－1 各荷重ケースに応じた限界状態

荷重	ケース	通常時	建設保守時	レベル1地震時	レベル2地震時
	作用頻度	極めて多い	数回程度	1,2回程度	供用期間中の作用は、希
機能確保の 保証水準	通水機能	全く支障無し			通水継続可能
	設備被害	健全			軽微な損傷受認
	補修・補強の可否	補修・補強 不要			・塗装の補修受認 ・鋼材の補強不要
照査する 限界状態	終局限界	断面降伏			全塑性
	使用限界	過大な変形／内面塗装の損傷			省略
照査方法	終局限界	・発生応力が所要の安全裕度を確保して、規格降伏応力度以下			発生応力が所定の安全裕度を確保して、全塑性応力以下
	使用限界	・発生撓み量が所要の安全裕度を確保して直径の5%以下 ・鋼材のひずみが所要の安全裕度を確保して、降伏ひずみ以下			省略

では12～20mmとなり、鋼材の総重量として約30%の大幅な重量低減を達成できた。

5. 現場計測

新手法により設計された取水管の健全性確認および新設計手法の更なる精度向上・高度化を目的として現場計測を実施した。その内容を以下に示す。

①計測方法

計測は、管厚14mm、土被り1.5mの箇所にて行い、管の挙動を正確に把握するために、計測機器としては、管内面に変位計（4方向）、ひずみゲージ（8箇所）、管外面にひずみゲージ（8箇所）、土圧計（8箇所）を設置し計測を行った。また、計測箇所近傍にて埋戻し土の密度試験を実施し、設計に対する地盤剛性の品質管理も行っている。

②計測結果

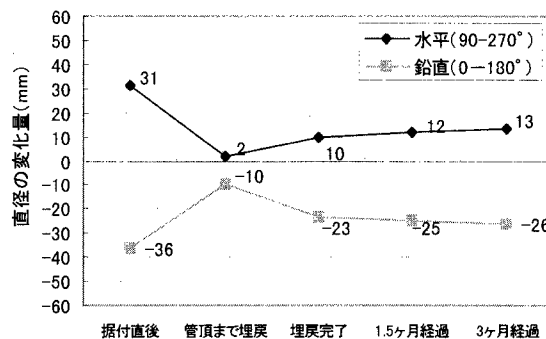
計測結果の一例として、管の直径変化量の経時変化を図－2に示す。この図より、最大変形量は据付時（自重変形）に生じた鉛直方向に36mm（撓み率：1.3%）であり、その後、埋戻しによる側圧の増大によって鉛直、水平変位量とも減少している。また、埋戻し完了後、約3ヶ月間で鉛直変位量が3mm増大し、収束に至った。これは、WSPにおける遅れ変形係数1.1（変位量の割増）とほぼ一致している。また、本計測によって、最大撓み率は1.3%と設計時における許容撓み率5%を大きく下回っており、設計では発生変位量を過大評価していることが明らかとなった。この原因としては、管周辺の地盤剛性を過小評価していることが考えられ、事実、計測箇所近傍における地盤剛性の平均値は140kgf/cm²と設計値よりも約2倍程度大きかった。

6. まとめ

本論文では、限界状態設計法の適用による取水管の設計手法および現場計測の結果について紹介した。その結

表－2 部分安全係数

部分安全係数	使用限界	終局限界	備考
材料係数	1.0	1.1	ひずみ速度の影響による鋼材の強度変動考慮
部材係数	1.0	1.0	一方向の板厚誤差を許容していないことを考慮
荷重係数	1.0～1.05	1.0	所定の品質管理を行うことを考慮
構造解析係数	1.05	1.15	FEMのモデル化、地盤の非線形化考慮
構造物係数	1.1	1.0	



図－2 直径変化量の経時変化

果、設計手法の合理化・高度化により、従来設計法に対して鋼材重量の大幅な低減を実現でき、現場計測においても、その健全性を確認することができた。

しかし、設計では発生変位量を過大評価しており、今後は地盤物性値の適切な評価によって、更なる設計合理化ができるものと考えられる。

<参考文献>

- 1) 水道用埋設鋼管の管厚計算基準，日本水道鋼管協会（WSP），1988.
- 2) 吉村 洋：たわみ性埋設管の力学挙動と設計法に関する研究，博士論文，1998.10