

東北地方太平洋沖地震に対する 点検と地震応答解析による地中ダクトの健全性評価

東北電力株式会社 土木建築部 正会員 ○伊藤悟郎, 坂本克洋

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（以下、「本地震」という）は、観測史上、国内最大となるマグニチュード（M）9.0の地震であった。女川原子力発電所（図-1）は、震央の西方約120kmと、震源に最も近い原子力発電所であったが、原子炉は設計どおり自動停止し、安全上重要な設備が機能し、3ユニットとも安全に冷温停止している。

現在は地震後の点検および健全性評価と並行して、復旧および裕度向上工事等を実施している。

本報は、発電所土木構造物のうち安全上重要な配管を内包する地中ダクトに対して実施した健全性評価について報告する。



図-1 発電所位置図

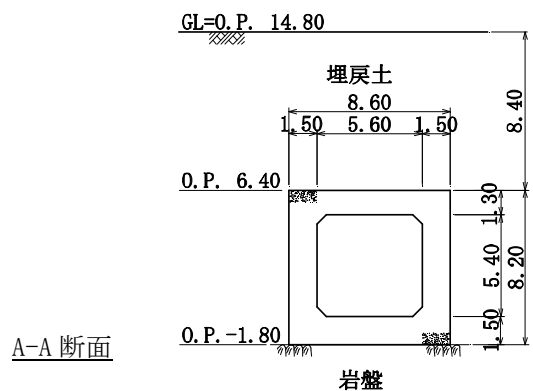
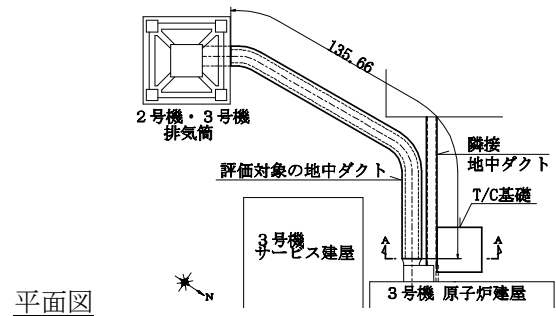


図-2 地中ダクト構造図

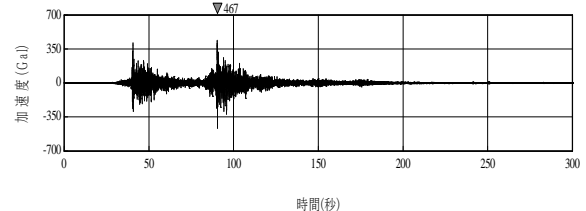


図-3 南北方向加速度時刻歴波形 (Max=467Gal)

2. 概要

(1) 地中ダクト概要

対象とする地中ダクトは、図-2に示す通り、3号機原子炉建屋と排気筒を連絡する幅8.6m、高さ8.2m、延長135.66mのボックスカルバートであり、内空は幅5.6m、高さ5.4mである。地中ダクトは、岩盤上に設置、埋戻されており、8.4mの土被りがある。地中ダクトの北約4mには隣接構造物として、別の地中ダクト及び建設時に使用したタワークレーン基礎がある。

本地震に対する健全性評価は、点検と地震応答解析の両者の結果を総合評価しており、本報では、地中ダクトのうち、解析断面（A-A断面）に対応する延長約40mを対象とする。

(2) 観測地震動

発電所敷地内で観測された本地震の時刻歴波形（南北方向）及び応答スペクトルを図-3および図-4にそれぞれ示す。

観測波は、継続時間が約150秒と長く、NS方向波では周期0.5秒あたりで、女川原子力発電所の基準地震動Ssを超過している。

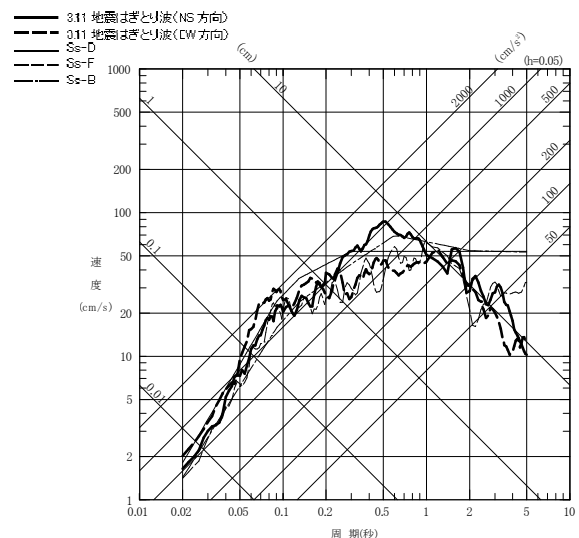


図-4 応答スペクトル（水平）

キーワード 東北地方太平洋沖地震, 地震後の健全性評価, 地震応答解析

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町1-7-1 TEL 022-799-6103

3. 点検

鉄筋コンクリート構造物に対する地震の影響は、ひび割れおよび剥離・剥落が想定され、外観の確認が有効であると考えられることから、目視点検を主体に実施した。

点検の結果、本地震による影響を否定できない変状を保守的に評価した結果、最大幅 0.5mm のひび割れ（長さ 2.5m）が、底板中央部延長方向に確認された。健全性の評価基準は、曲げに起因するひび割れ幅 1.0mm 以下、せん断に起因するひび割れがないこと等としている。一方、確認されたひび割れは、曲げが卓越する位置にあり、評価基準を満足することから、「異常なし」と判定した。

4. 地震応答解析

(1) 解析モデル

地震応答解析は、時刻歴非線形解析により行い、地中ダクトと埋戻土の非線形性を考慮した。解析モデルは図-5に示す通り、隣接構造物もモデル化した。物性値は、設計時の値を基本としたが、躯体コンクリートの圧縮強度および弾性係数、鉄筋の降伏強度については、試験結果や既往の統計調査結果から、実測値および実測値相当の値を設定した。代表的な物性値を表-1に示す。

(2) 解析結果

解析結果の代表として、層間変形最大時（層間変形角：1/2000）のモーメント図を図-6に示す。また、全時刻において、鉄筋およびコンクリートに発生する最大応力と許容値を表-2に示す。

モーメント図より、各部材の端部において外側引張のモーメントが最大となっている。鉄筋の発生応力度は、降伏強度の 1/2 以下、コンクリートの発生応力度は圧縮強度の 1/4 以下に収まっている。地震応答解析において、曲げに対する健全性の評価基準は、鉄筋が降伏していないこととしていることから、「余裕がある」と判定した。

なお、設計時には、隣接構造物をモデル化せず、埋戻土としてモデル化し、設計用の物性値としている。本地震に対し、設計時同様の解析をすると、鉄筋の発生応力度は 1.8 倍となる。これは、本地中ダクトの設計裕度であると考えられる。

詳細は省くが、せん断に対しても、せん断耐力を下回っていることから、「余裕がある」と判定した。

5. まとめ

基準地震動 S_s を上回る地震動を経験した地中ダクトについて、点検および地震応答解析による健全性評価を実施した結果、点検により耐震性に影響を及ぼすような

変状は確認されておらず、地震応答解析の結果からも構造物の応答は弾性範囲に収まっており、地中ダクトは健全であると評価した。

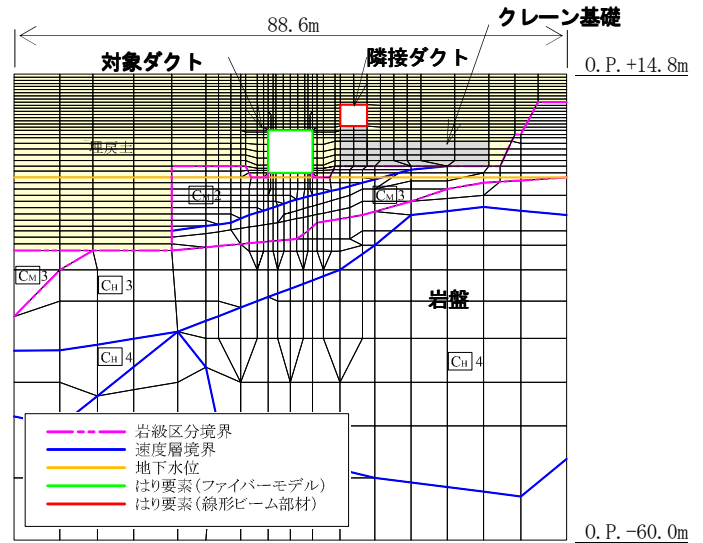
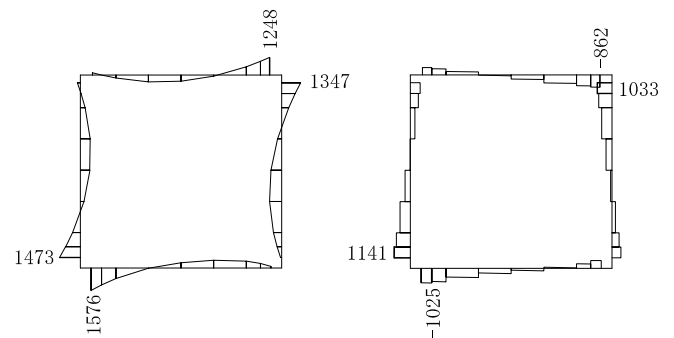


図-5 解析モデル

表-1 地中ダクト躯体の物性値

	設計時	本検討
コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	23.5	44.0
コンクリート弾性係数 (kN/mm ²)	24.8	30.1
鉄筋降伏強度 (N/mm ²)	345	397
鉄筋弾性係数 (kN/mm ²)	200	200
ポアソン比	0.2	0.2
密度 (t/m ³)	2.45	2.45



モーメント (単位：kN・m, 外側引張正) せん断力 (単位：kN, 時計周り正)

図-6 断面力図（層間変形最大時）

表-2 地中ダクト躯体の応力度照査結果

部位	鉄筋			コンクリート		
	発生値 ① (N/mm ²)	許容値*1 ② (N/mm ²)	照査値 ①/②	発生値 ③ (N/mm ²)	許容値*2 ④ (N/mm ²)	照査値 ③/④
頂版	182.3	397	0.46	10.1	44.0	0.23
底板	153.9	397	0.39	9.5	44.0	0.22
側壁	129.1	397	0.33	7.9	44.0	0.18

*1：鉄筋の降伏強度，*2：コンクリートの圧縮強度