

柏崎刈羽原子力発電所7号機
新潟県中越沖地震後の設備健全性に係る
屋外重要土木構造物の点検・評価について

(指摘事項に関する回答)

平成 20 年 7 月 14 日

東京電力株式会社

指摘事項と対応方針

番号	指摘事項	対応方針
1	設計時における取水路のブロック割りの考え方について説明すること(6月20日6号機第1回立入検査)	第16回構造WGで回答
2	7号機取水路A系の底版で確認されたひび割れ , , について,地震に起因するものかどうか検討すること(6月27日第15回構造WG)	第16回構造WGで回答
3	7号機非常用取水路の耐震ジョイント位置におけるブロック間相対変位の分布傾向について説明すること(6月27日第15回構造WG)	第16回構造WGで回答
4	7号機非常用取水路で認められる最大25mmの段差が,地震に起因するものかどうか検討すること(6月27日第15回構造WG)	
5	取水路敷高について,施工時の寸法管理精度を確認すること(6月27日第15回構造WG)	
6	今回の地震に対する7号機非常用取水路の耐震性の余裕の程度を確認するために,部材のM - スケルトン上に最大応答値を示すこと(6月27日第15回構造WG)	第16回構造WGで回答
7	解析モデルにおける解析範囲のとり方と,近接構造物の取扱いの考え方とについて説明すること(6月27日第15回構造WG)	第16回構造WGで回答
8	スクリーン室近傍の地盤沈下の状況を踏まえ,構造物の健全性について説明すること(6月27日第15回構造WG,6月20日6号機第1回立入検査)	第16回構造WGで回答
9	入力地震動を間接的に設定していることについて,報告書に記載すること(6月27日第15回構造WG)	報告書に反映
10	解析セクション選定の考え方について,報告書に記載すること(6月27日第15回構造WG)	報告書に反映
11	点検に基づく評価のフロー図における分岐の文言について,肯定形の表現に統一すること(6月27日第15回構造WG)	報告書に反映

コメント内容

No.1 設計時における取水路のブロック割りの考え方について説明すること
(平成20年5月20日 6号機第1回立入検査)

回答

非常用取水路の設計では、取水路軸方向に構造上問題となるような応力が生じないように、軸方向における構造の変化等を考慮してブロック分割し、その間に耐震ジョイントを設けている。

このような考え方に沿って、7号機非常用取水路は、図-1に示すようにスクリーン室、漸縮部、一般部、シャフト部、漸拡部および補機部に区分し、さらに、軸方向の長さが比較的長い一般部および漸拡部については、概ね15m以下のブロックに分割することとし、それぞれのブロック間に耐震ジョイントを設けている。

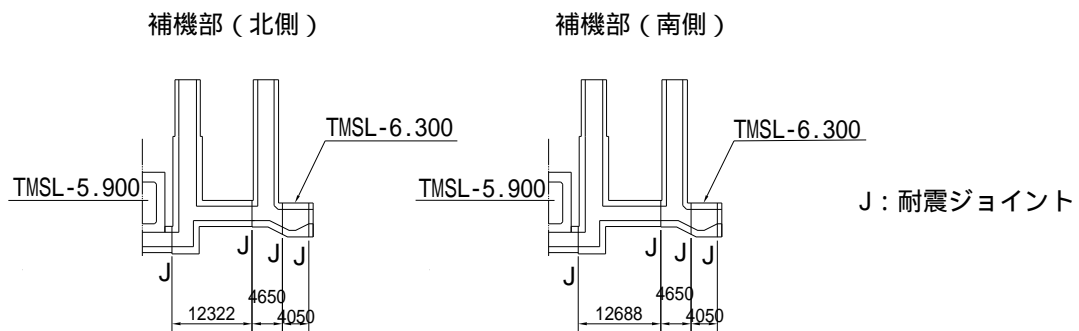
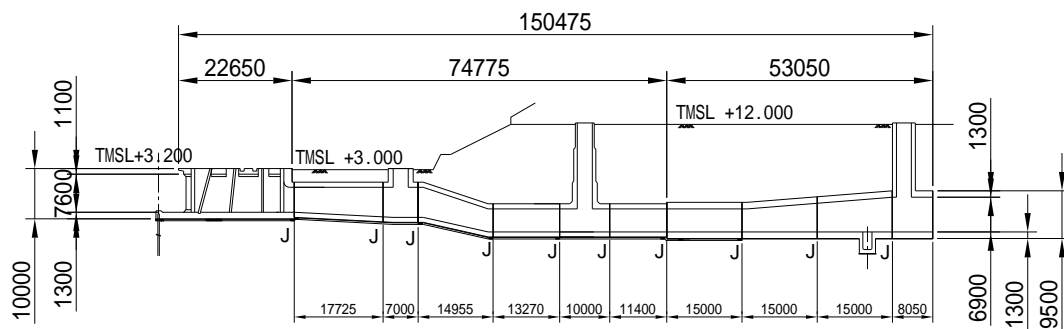
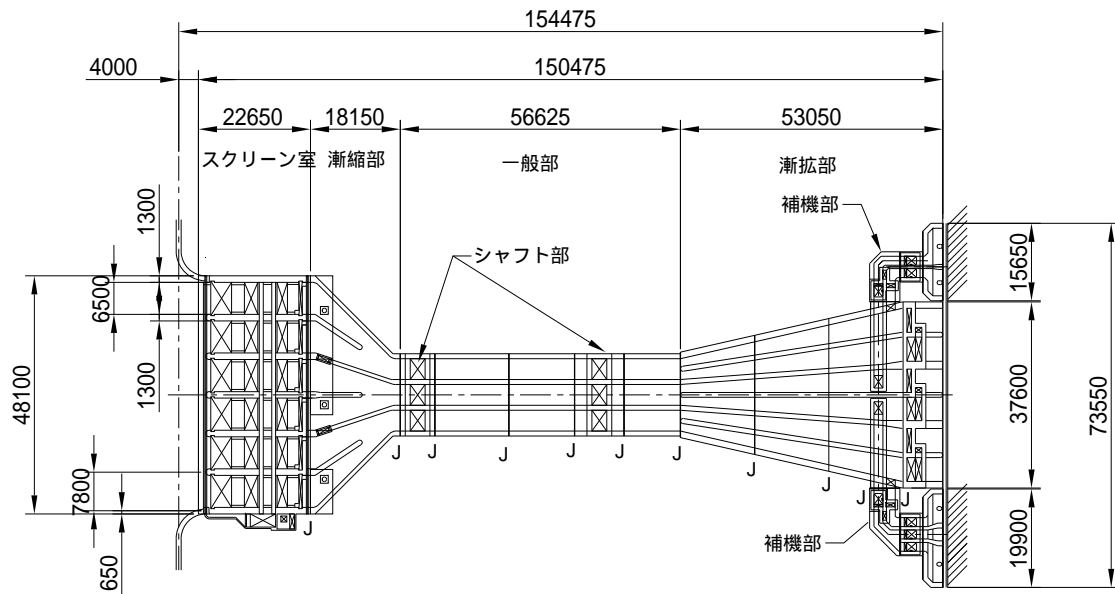


図-1 7号機非常用取水路のブロック分割

コメント内容

No.2 7号機取水路 A 系の底版で確認されたひび割れ , , について , 地震に起因するものかどうか検討すること
(平成 20 年 6 月 27 日 耐震・構造設計小委員会 構造 WG (第 15 回))

回答

7号機取水路 A 系のひび割れ , , は , 底版の中央付近に軸方向に分布するひび割れであり , 最大ひび割れ幅は 0.2mm , 延長は 10.0 ~ 13.2m である (図-1)。

当該ひび割れの性状を観察した結果によると , ひび割れ面の角が丸く , 変色が見られることから , 古いひび割れであることが推察される。

各ブロックのひび割れ幅が最大の位置において , 衝撃弾性波試験によりひび割れ深さを計測した。計測位置を図-1 に , 計測結果を表-1 に示す。いずれの計測位置においても , ひび割れ深さが 50mm 未満であることを確認した。また , 同じ位置において , 底版からコアを採取してひび割れ深さを目視観察したところ , 変色域の深さは 4cm 程度であり , 鉄筋 (かぶり 10cm) には達していないことを確認した (図-2 , 写真-1)。

当該ひび割れは , 新潟県中越沖地震前に実施した定期点検では確認されていないものの , ひび割れ性状 (角が丸く変色している) や , ひび割れ深さ (鉄筋まで達していない) などから , 今回の地震前から存在しており過去の定期点検で発見されなかったものである可能性が高い。

なお , 当該ひび割れは , ひび割れ深さが浅く鉄筋に達しておらず , ひび割れ幅も小さいことから , 構造的に問題のないひび割れであると考えられる。

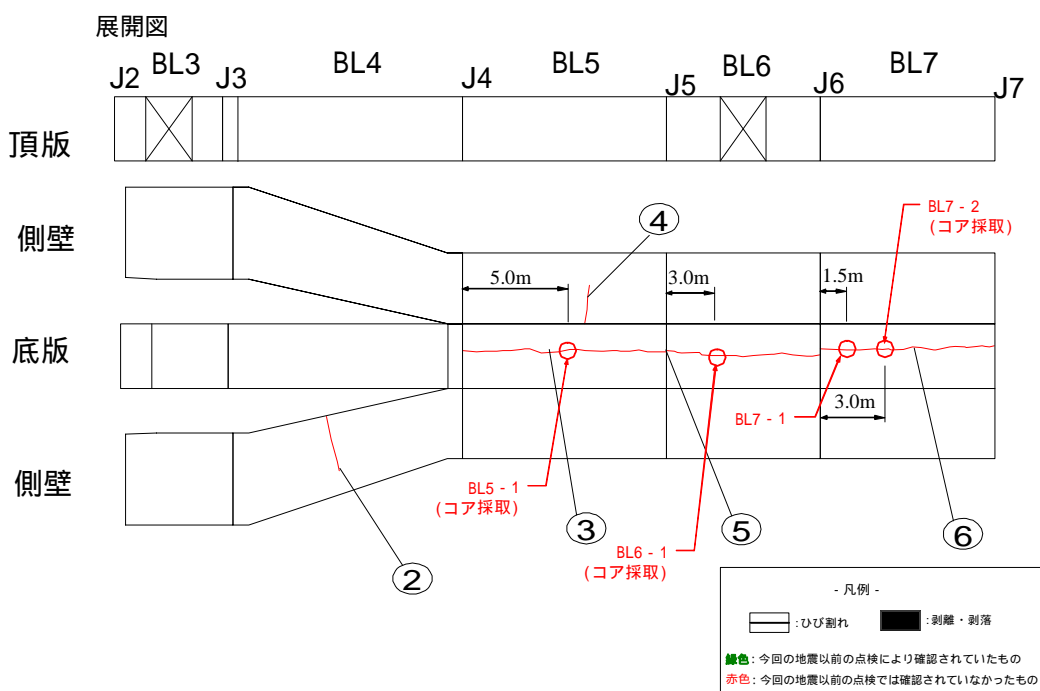
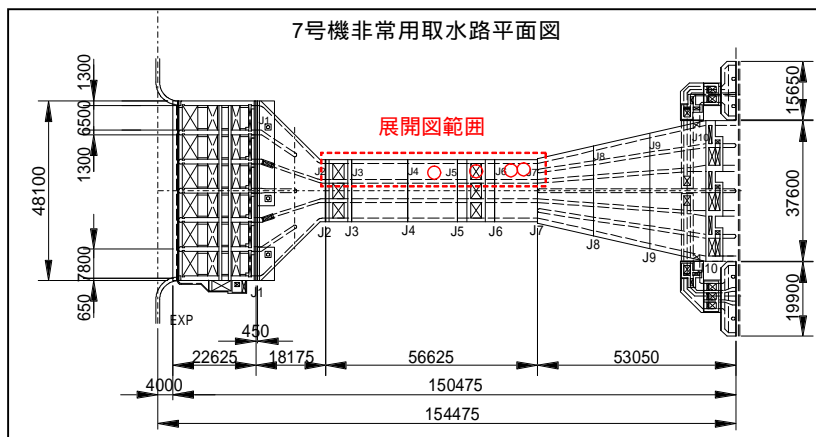


図-1 衝撃弾性波試験によるひび割れ深さ計測位置

表-1 衝撃弾性波試験によるひび割れ深さ計測結果

測線番号	ひび割れ深さ
BL5 - 1	25mm 以上 50mm 未満
BL6 - 1	25mm 以上 50mm 未満
BL7 - 1	25mm 未満
BL7 - 2	25mm 以上 50mm 未満

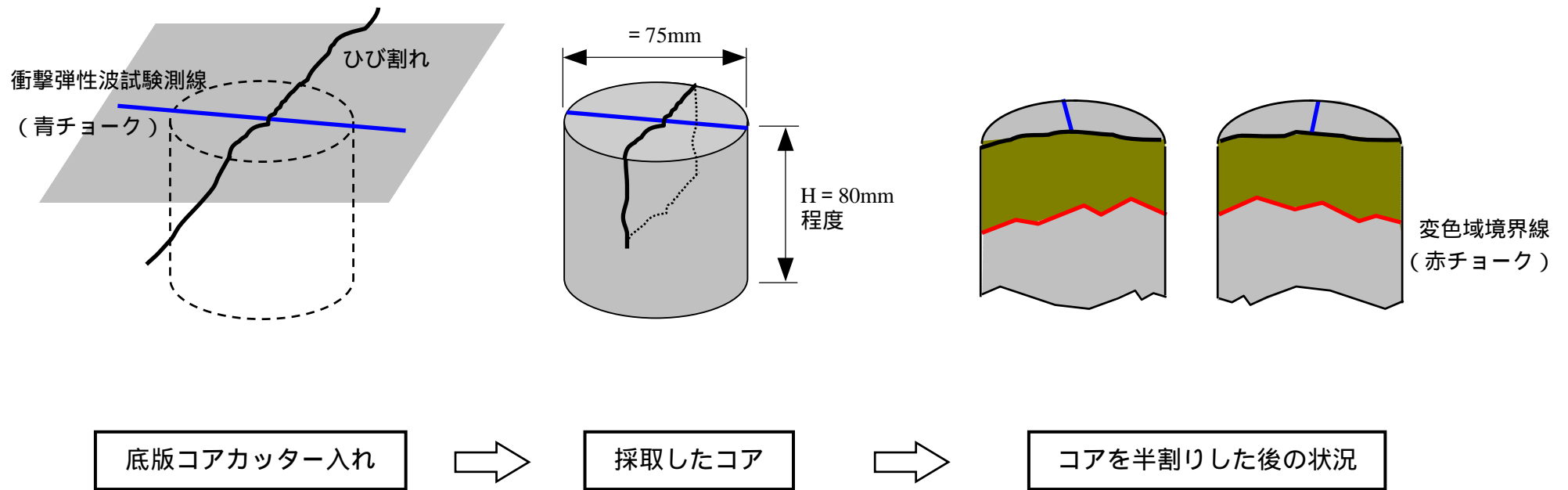
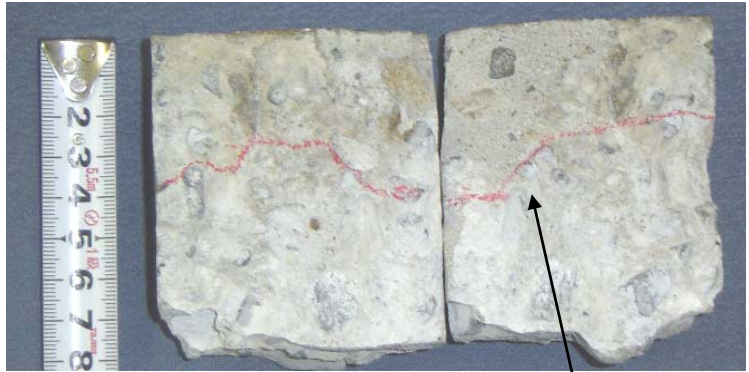
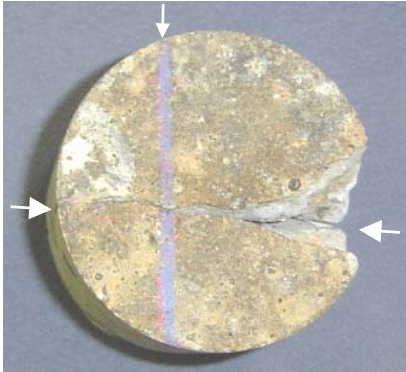


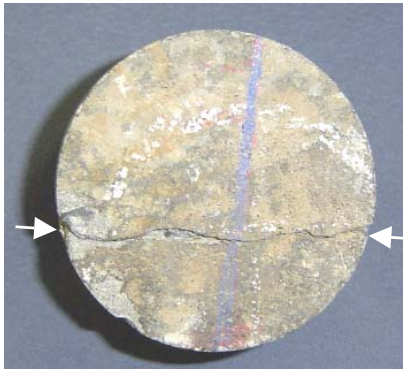
図-2 底版からのコア採取と目視観察の方法

衝撃弾性波試験測線（青チョーク）

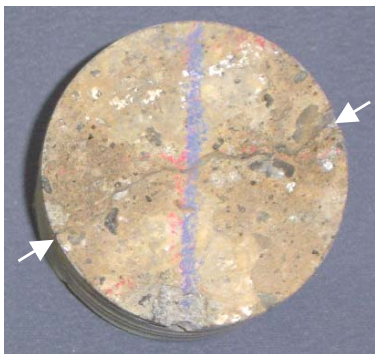


(a) B L 5 - 1

変色域境界
（赤チョーク）



(b) B L 6 - 1



(c) B L 7 - 2

写真-1 底版から採取したコアの状況

コメント内容

- No.3 7号機非常用取水路の耐震ジョイント位置におけるブロック間相対変位の分布傾向について説明すること
- No.4 7号機非常用取水路で認められる最大 25mm の段差が，地震に起因するものかどうか検討すること
- No.5 取水路敷高について，施工時の寸法管理精度を確認すること
(平成 20 年 6 月 27 日 耐震・構造設計小委員会 構造 WG (第 15 回))

回答

7号機取水路A～C系の耐震ジョイント部の段差，ずれ，伸びの分布状況を図-1～図-3に示す。段差については取水路の5箇所において認められ，その最大値は取水路A系のジョイントJ3における25mm(海側上がり)である。ずれについては取水路B系のジョイントJ8においてのみ認められ，その値は10mm(左横ずれ)である。また，伸びについては取水路および取水路-スクリーン室接合部の8箇所において認められ，その最大値は伸長側について取水路A系の耐震ジョイントJ8およびJ9における10mm，圧縮側について取水路A，B，C系とスクリーン室の接合部3箇所における10mmである。

建設時においては，型枠精度の管理基準値を+20mm以下としており，当初からこの程度の施工誤差があった可能性がある。

新潟県中越沖地震発生前には，耐震ジョイント位置におけるブロック間相対変位の測定を実施していないことから，今回計測された段差，ずれ，伸びが，今回の地震に起因するものであるかどうかを判断することは困難である。

なお，段差，ずれについては取水路の内空寸法や部材厚に比べて十分小さいことから，また段差，ずれ，伸びともに，耐震ジョイントの限界性能に比べて十分小さいことから，目地部における数cm程度の変位は取水機能に影響を及ぼすものではないと考えられる。

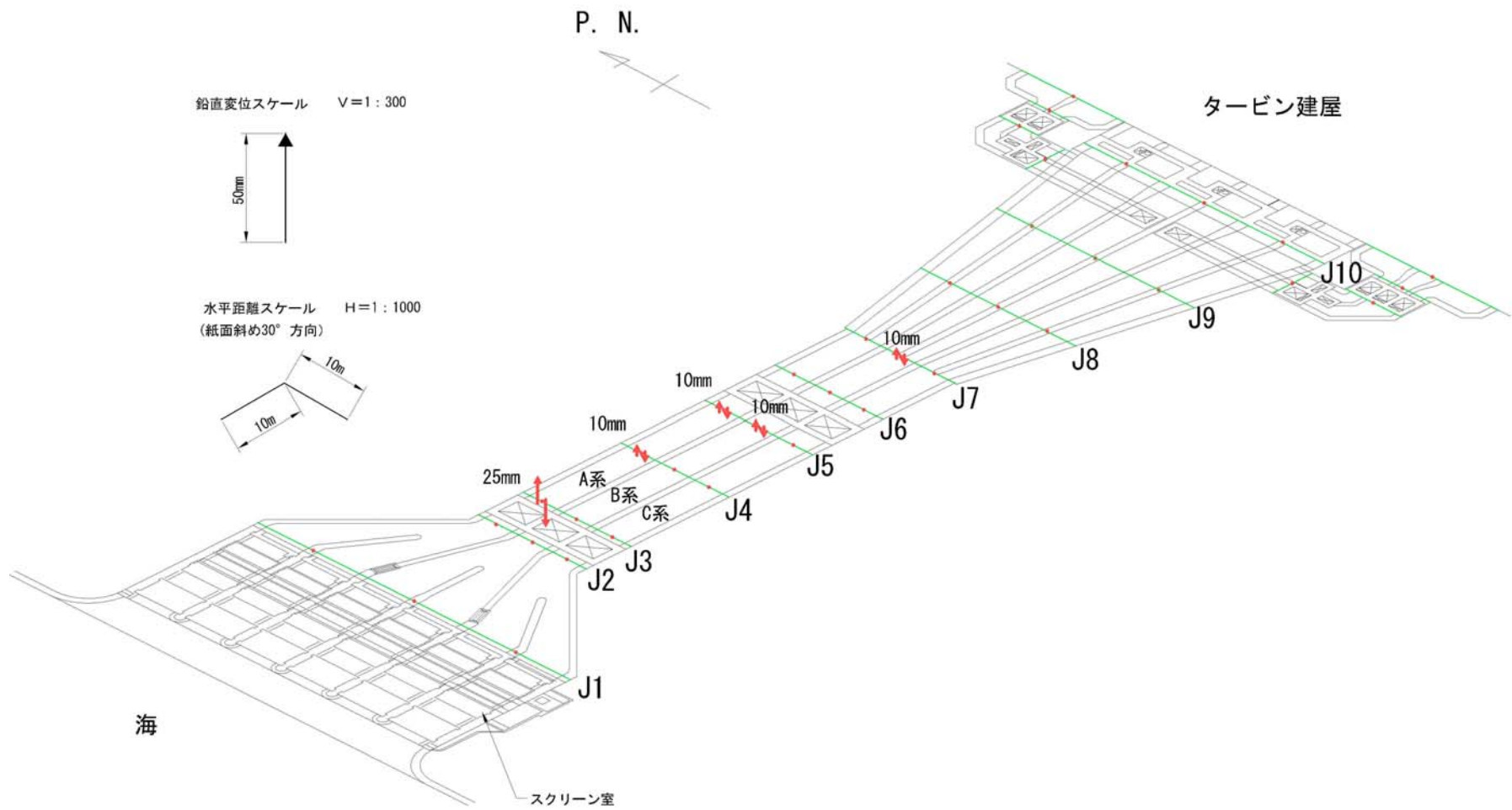


図-1 耐震ジョイント部の段差の分布状況

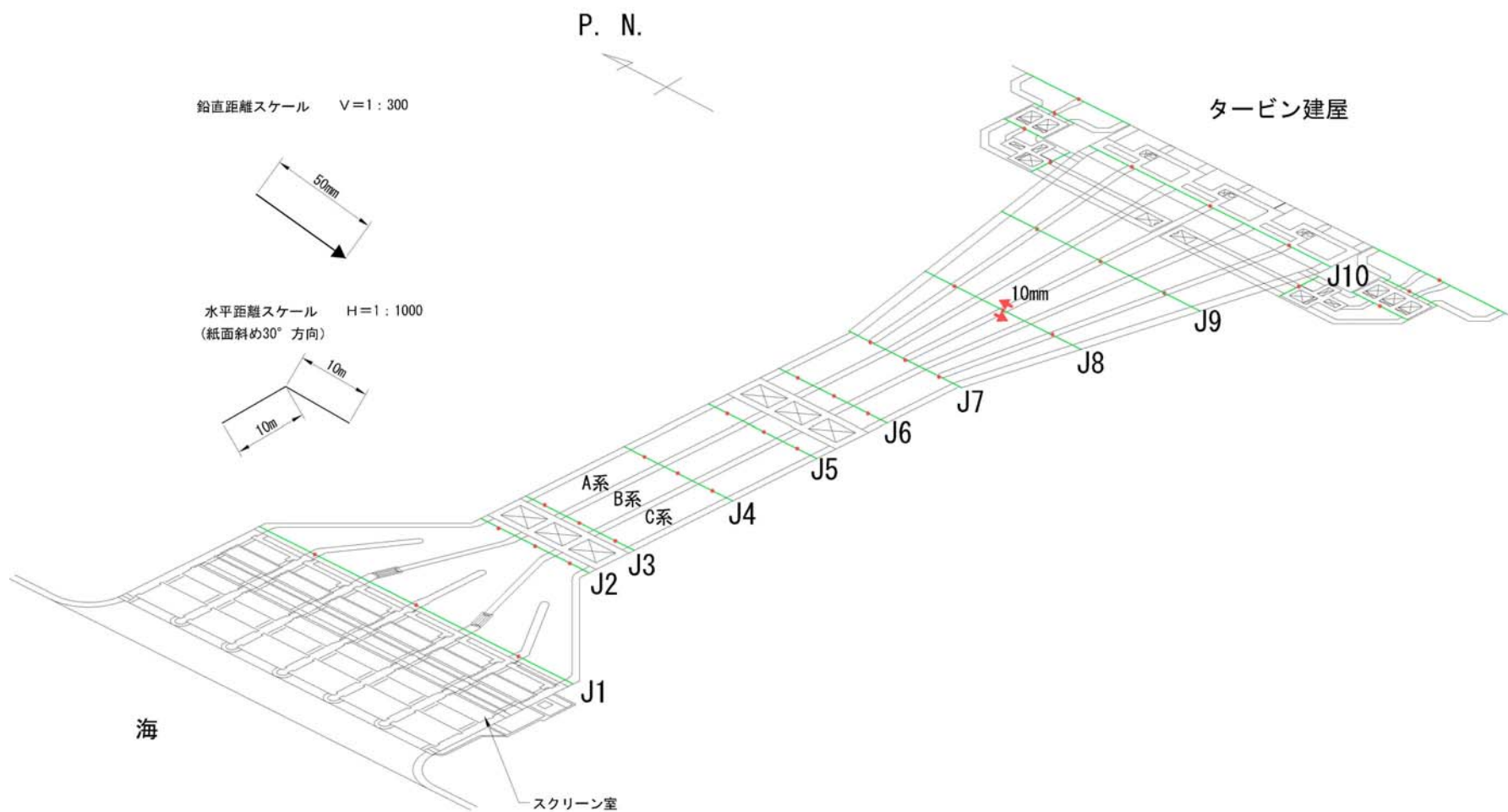


図-2 耐震ジョイント部のずれの分布状況

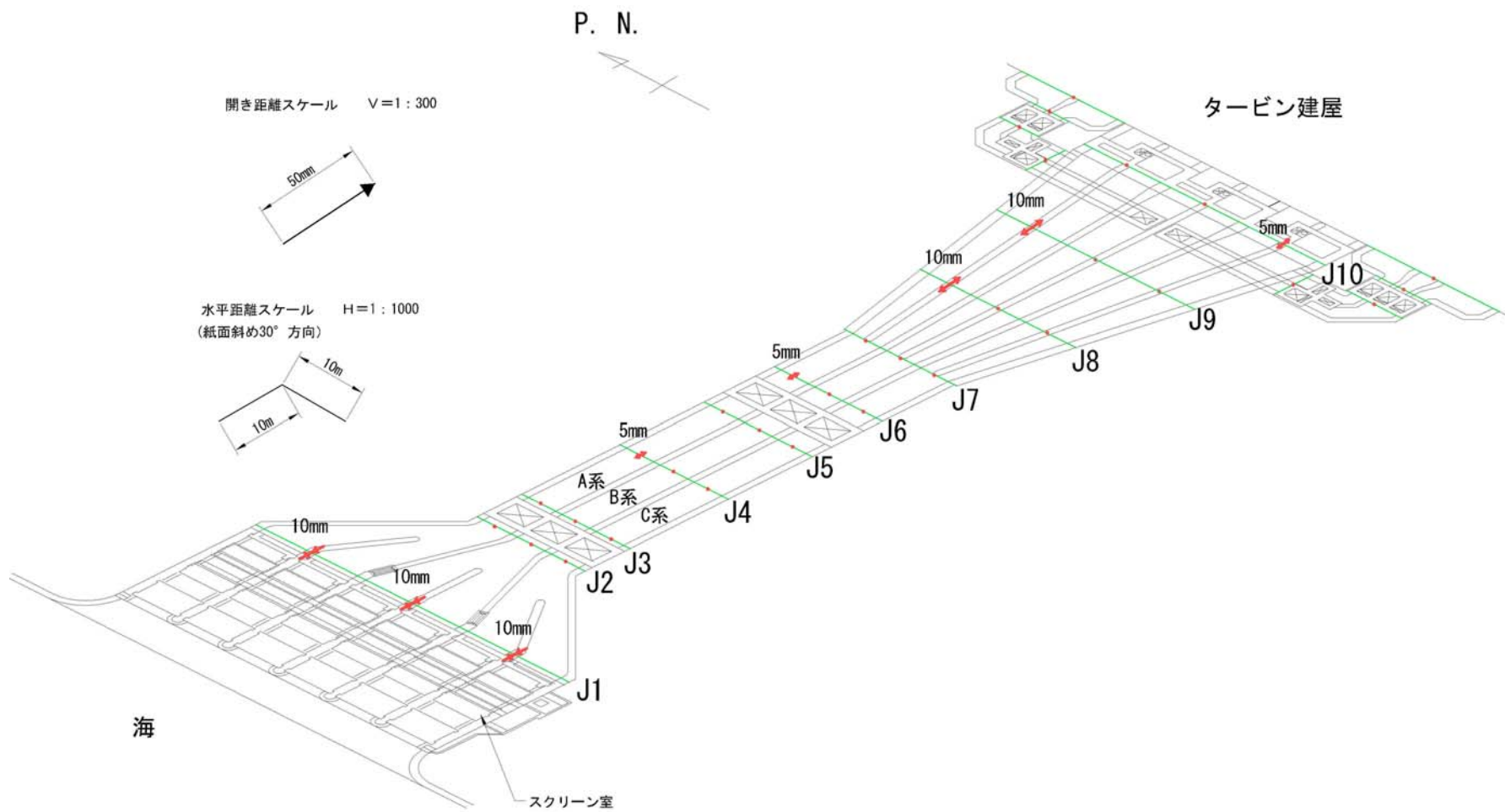


図-3 耐震ジョイント部の伸びの分布状況

コメント内容

No.6 今回の地震に対する7号機非常用取水路の耐震性の余裕の程度を確認するために、部材のM - スケルトン上に最大応答値を示すこと
(平成20年6月27日 耐震・構造設計小委員会 構造WG(第15回))

回答

図-1～図-4 に7号機スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路(南側および北側)の各断面において、発生曲げモーメント M_d と降伏曲げモーメント M_y の比 M_d/M_y が最も大きい部位のM - スケルトン上に最大応答値をプロットした結果を示す。図中の M_{cr} はひび割れ発生曲げモーメント、 M_u は最大曲げモーメントを表している。

M_d/M_y が最も大きい部位は、取水路の隔壁 ($M_d/M_y = 0.85$) である。全ての断面において発生曲げモーメント M_d は降伏曲げモーメント M_y に達していない。

(参考)

ひび割れ発生曲げモーメント：

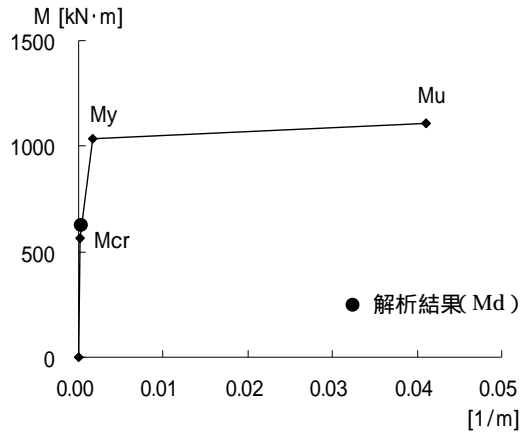
断面縁の引張応力がコンクリートの引張強度に達するときの曲げモーメント

降伏曲げモーメント：

主鉄筋が降伏に達するときの曲げモーメント

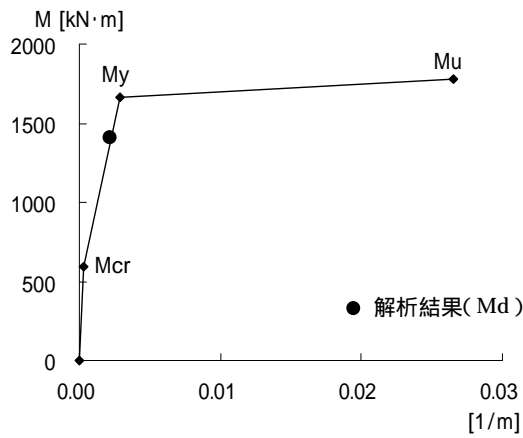
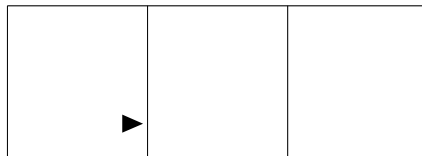
最大曲げモーメント：

断面縁のコンクリートの圧縮ひずみが 3500μ に達するときの曲げモーメント



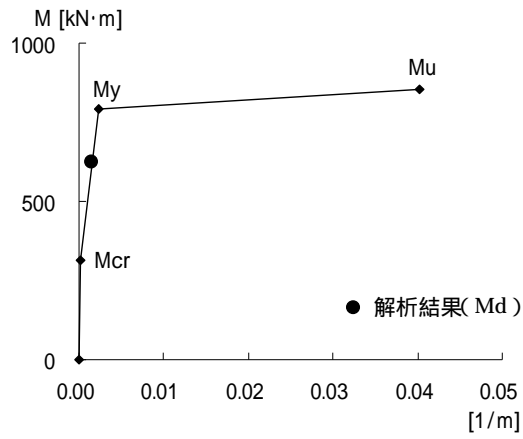
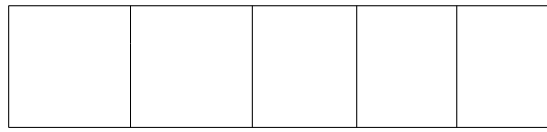
右側壁
Md/My=0.60

図-1 7号機スクリーン室の結果



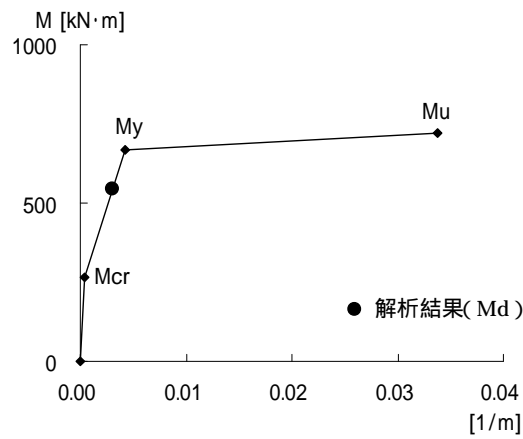
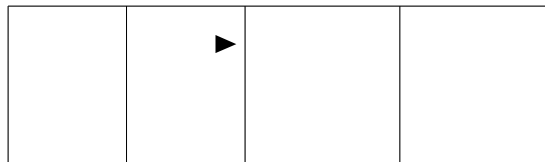
隔壁
Md/My=0.85

図-2 7号機取水路の結果



底板
Md/My=0.79

図-3 7号機補機冷却用海水取水路(南側)の結果



隔壁
Md/My=0.82

図-4 7号機補機冷却用海水取水路(北側)の結果

コメント内容

No.7 解析モデルにおける解析範囲のとり方と近接構造物の取扱いの考え方について説明すること

(平成20年6月27日 耐震・構造設計小委員会 構造WG(第15回))

回答

非常用取水路のモデル化領域は「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計に関する安全性照査マニュアル, 土木学会原子力土木委員会, 1992.9」を参考に, 構造物幅の5倍以上を目安に設定している。同マニュアルでは, 境界条件が異なる動的FEM解析モデルを用いて感度解析を実施した結果に基づき, ダクト幅の5倍程度の領域までの地盤をモデル化しておけば, 最大断面力分布にほとんど差が見られないことから, 簡単のためには側方水平ローラー, 底面固定境界のような境界条件でも問題ないと判断されるとしている。

また, モデル化領域内に存在する他の構造物(以下近接構造物と称する)は地盤としてモデル化している。これは, 近接構造物の剛性が地盤と同等あるいは大きく, かつ, 地盤より軽い場合は, 地盤としてモデル化する方がやや安全側の結果が得られるためである。

ここでは, 7号機スクリーン室の地震応答解析結果に基づき, 構造物が側方地盤の応力に影響を及ぼす範囲について検討した。図-1 および図-2 に7号機スクリーン室解析断面の最大せん断ひずみ分布を示す。同図より, スクリーン室側方地盤の最大せん断ひずみは, スクリーン室の幅以上離れると遠方地盤とほぼ同等になることから, スクリーン室側方への影響範囲はスクリーン室幅程度であると判断される。

以上より, 7号機スクリーン室の地震応答解析においては, 近接する6号機スクリーン室はその剛性が地盤より大きく, またその重量も地盤より軽いいため, 6号機スクリーン室を地盤としてモデル化している。

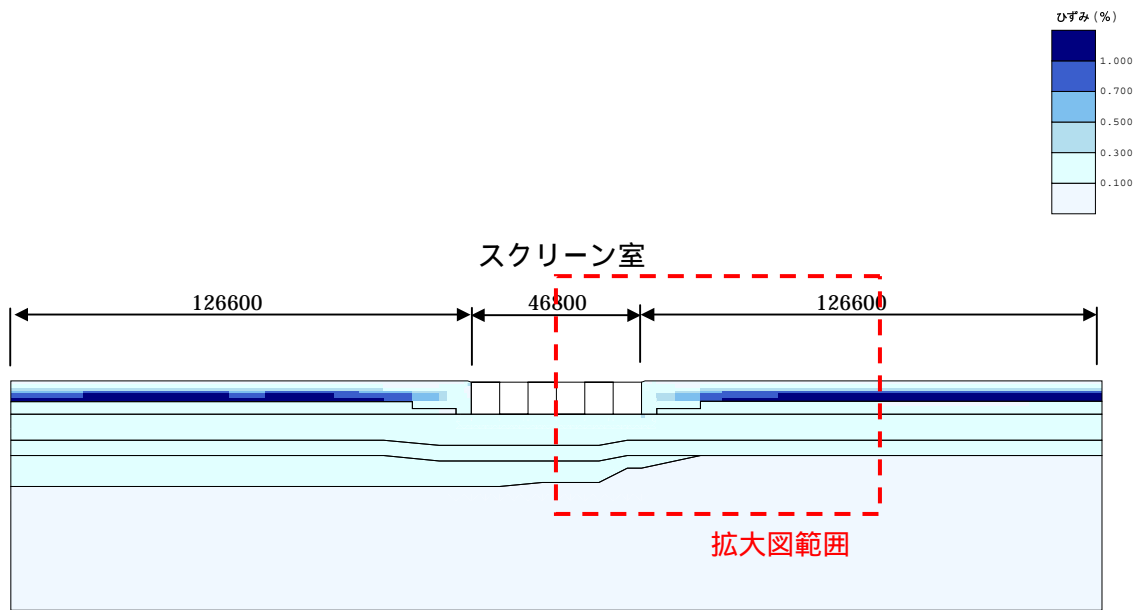


図-1 7号機スクリーン室解析断面の最大せん断ひずみ分布

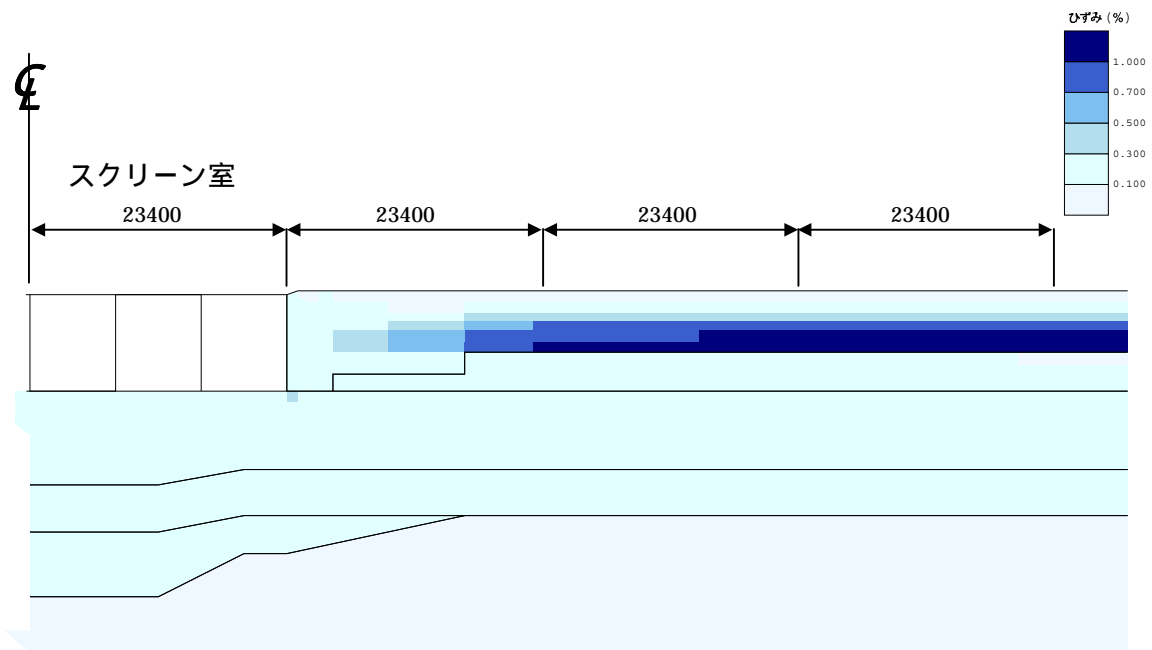


図-2 7号機スクリーン室解析断面の最大せん断ひずみ分布
(スクリーン室近傍を拡大)

コメント内容

No.8 スクリーン室近傍の地盤沈下の状況を踏まえ、構造物の健全性について説明すること

(平成20年6月27日 耐震・構造設計小委員会 構造WG(第15回),平成20年6月20日6号機第一回立入検査)

回答

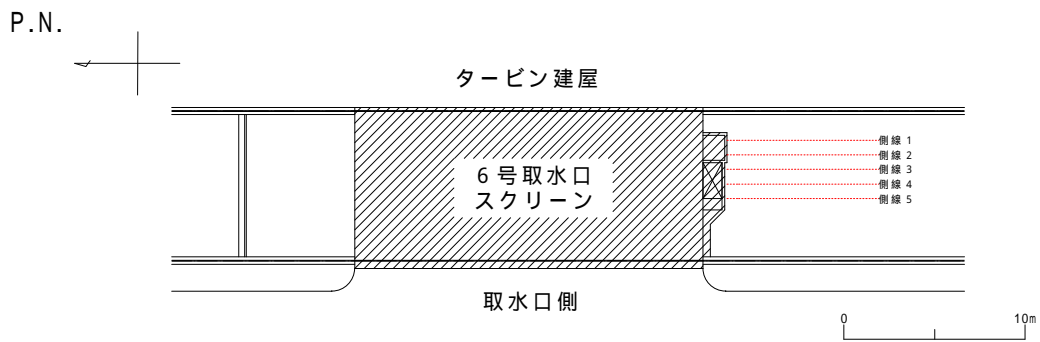
1. スクリーン室近傍の地盤沈下状況

新潟県中越沖地震により、5～7号機スクリーン室周辺エリアについては、スクリーン室南北両側の構造物 - 地盤境界に沿った狭い範囲において、10cm を越える地盤沈下が確認された。

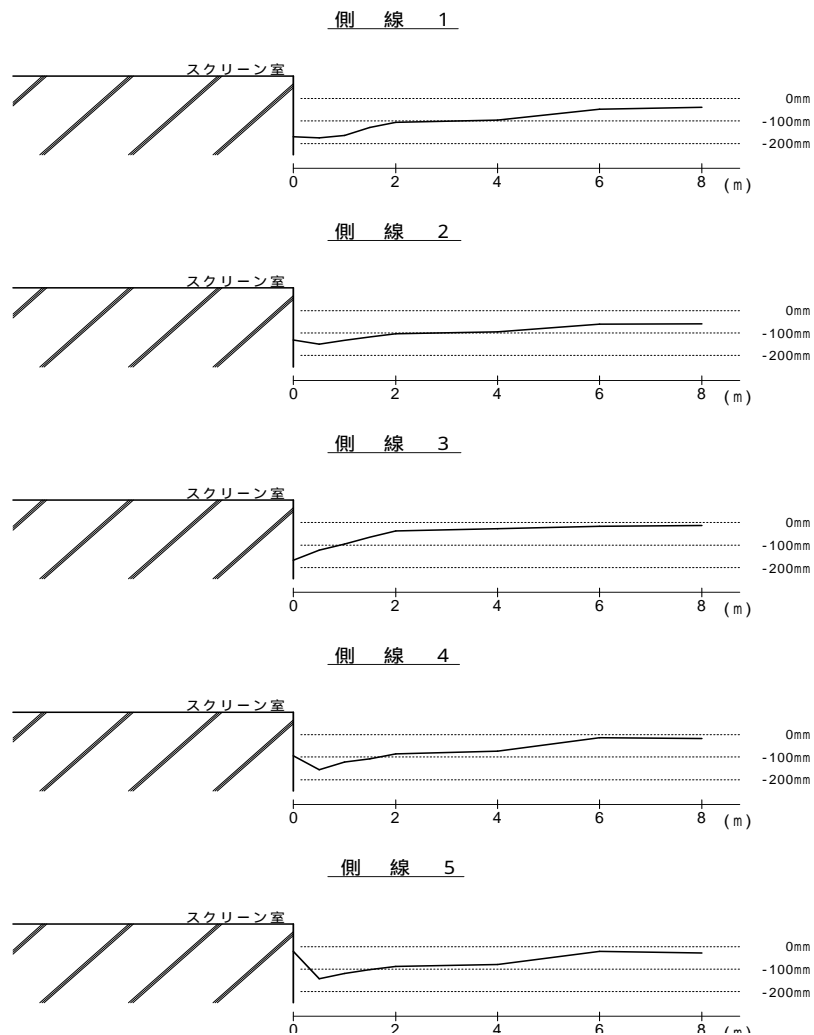
地盤沈下状況を正確に把握するために、現状を確認できる状態にある6号機スクリーン室南側周辺において水準測量を実施した(図-1)。地盤沈下量が10cm を越える領域は、スクリーン室から4m 程度の範囲に限られている。

一方、今回の地震に対する7号機非常用取水路の地震応答解析について、構造物と地盤の境界に配置されたジョイント要素の応答を分析したところ、スクリーン室南北両側の構造物 - 地盤境界において、剥離が発生していることが確認された。図-2に、スクリーン室と地盤の剥離が最大となる時刻における境界部の変位図を示す。

地震応答解析結果からは、スクリーン室近傍に認められる地盤沈下は、スクリーン室と地盤の間に隙間が生じていることから、直近地盤が主働崩壊して楔状に沈下し、地震動の繰返しにより進展・拡大したものと推定される。このような構造物と地盤の境界近傍における沈下は、今回の地震後に主要建屋周辺においても認められており、主働すべりによるずり下がり沈下(図-3)であることが想定されているが、スクリーン室近傍の地盤沈下も同一の発生機構により生じたものと考えられる。

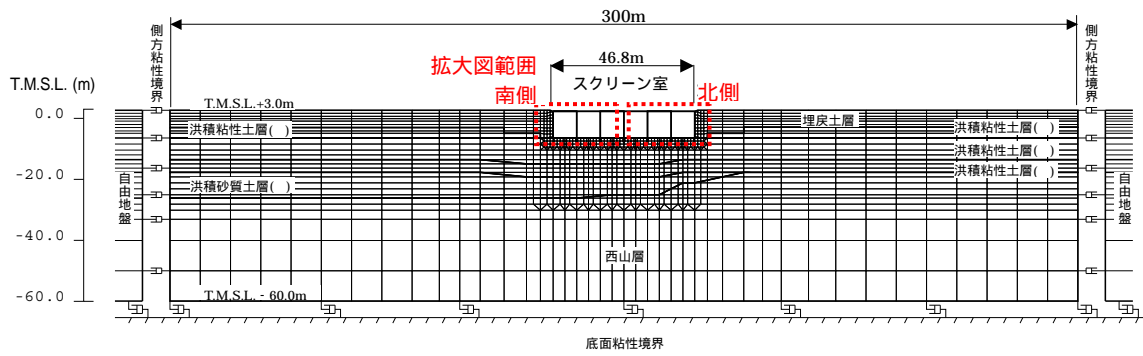


(a) 測線位置図

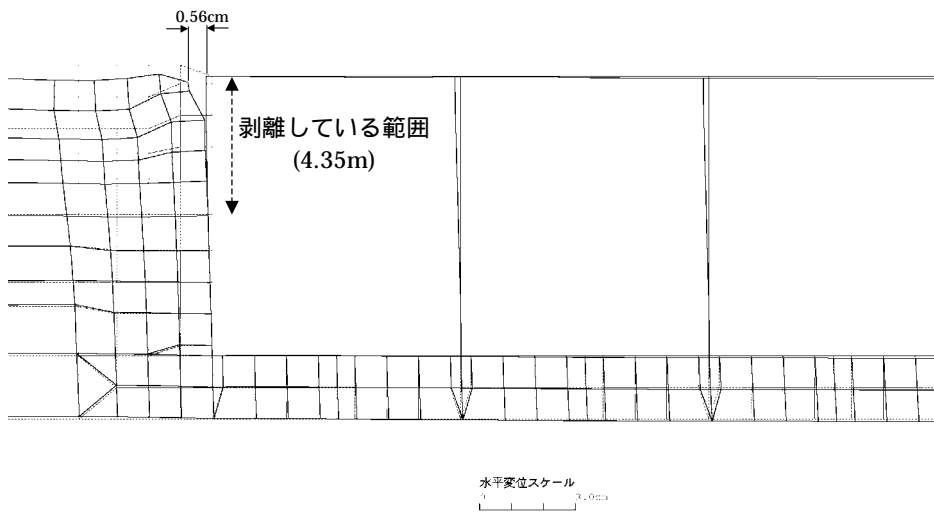


(a) 各測線における沈下量分布図

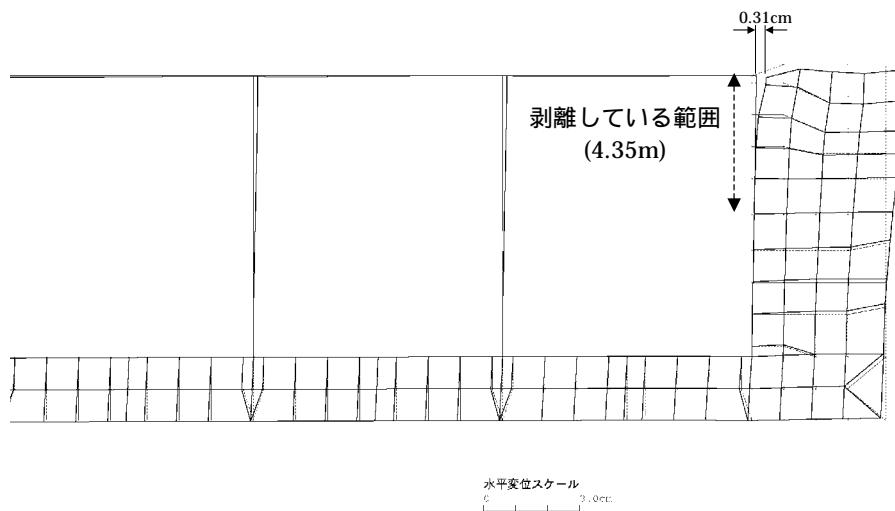
図-1 6号機スクリーン室南側周辺における水準測量結果



地下水位：T.M.S.L.+1.0m



(a) 南側 (t=13.93 秒)



(b) 北側 (t=11.11 秒)

図-2 スクリーン室と地盤の境界部の変位図

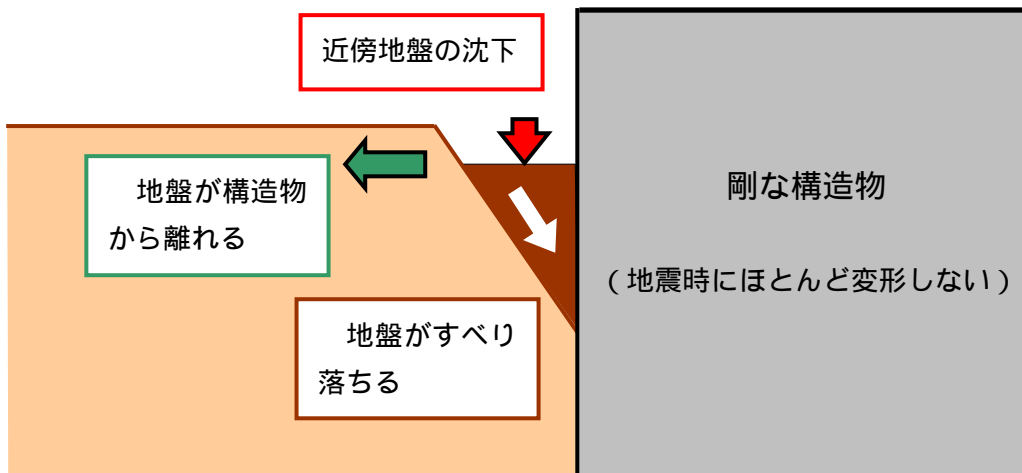


図-3 主動すべりによるずり下がり沈下の概念図
(第3回地震・津波,地質・地盤合同WG資料による)

2. 地震時における地盤と構造物の挙動

今回の地震に対する7号機非常用取水路の地震応答解析結果に基づき、地盤と構造物の動的相互作用の影響を検討した。図-4 にスクリーン室と地盤の応力 - ひずみ関係の比較を示す。図より明らかなように、スクリーン室の剛性は周辺地盤の剛性と比較して相対的に大きい。これは、スクリーン室は地表に面して設置されているため頂版に地盤からのせん断力が作用しないことから地中埋設構造物と比較して地盤の変形の影響を受けにくいこと、スクリーン室は部材が厚いため構造物全体系の剛性が高いことの反映であると考えられる。

このようにスクリーン室は、地盤の変形の影響を受けにくい特性を有している。今回の地震に対する地震応答解析結果においても、スクリーン室の最大層間変形角は0.06 / 100 程度であることから、スクリーン室は耐震性の余裕が大きいと考えられる。

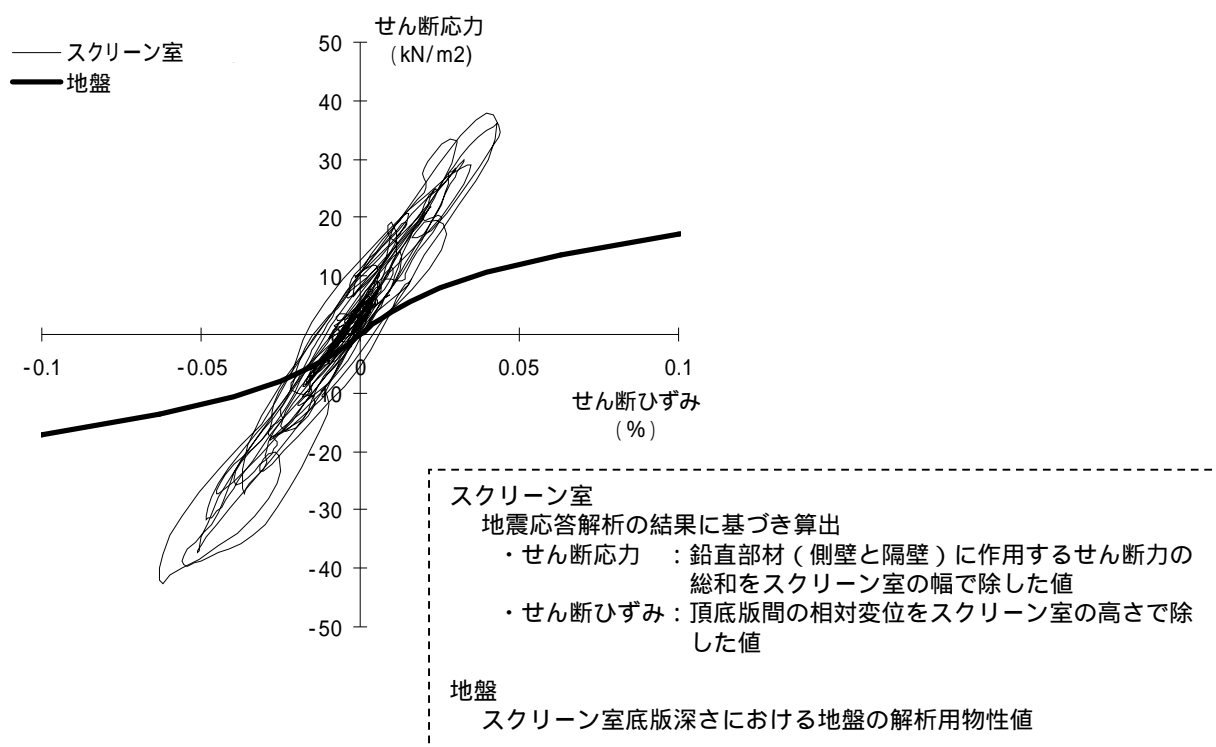


図-4 スクリーン室と地盤の応力-ひずみ関係の比較