
新潟県中越沖地震における7号機非常用取水路の 現実的な条件設定に基づく評価と耐震余裕について

平成20年8月8日

東京電力株式会社

目次

1

より現実的な条件設定に基づく地震応答解析による評価

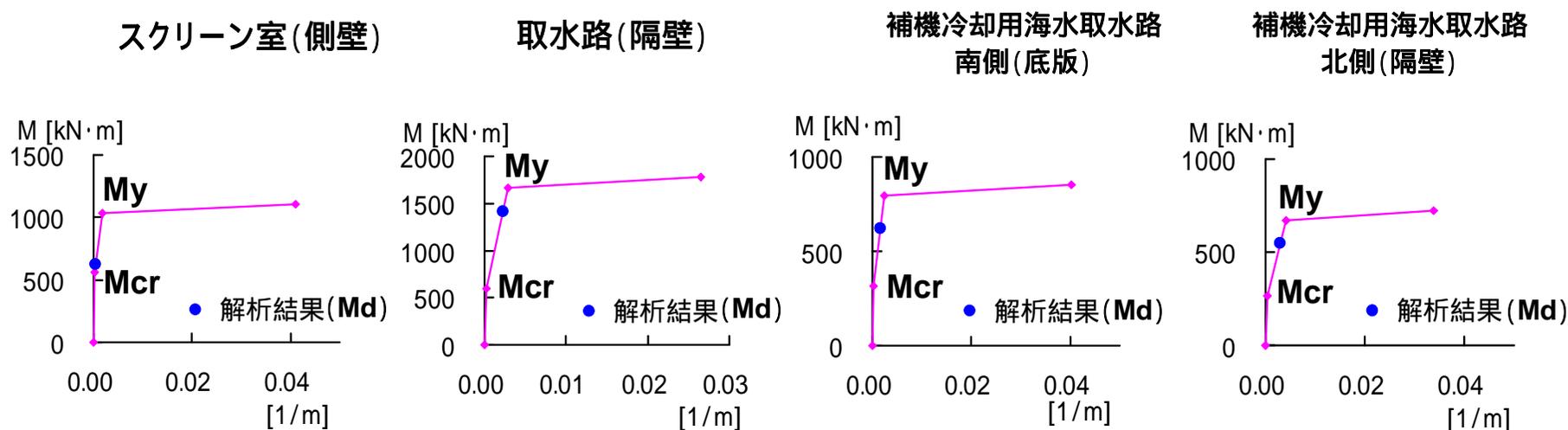
2

耐震余裕に関する解析的検討

1.1 検討の背景

第16回構造WG (2008.7.14)における当社説明 (コメント回答)

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した。

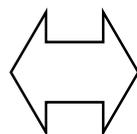


	最大応答値Mdの程度
スクリーン室	ひび割れ発生曲げモーメント M_{cr} を上回る。
取水路	ひび割れ発生曲げモーメント M_{cr} を上回り、降伏曲げモーメント M_y に近い値を示す。
補機冷却用海水取水路	

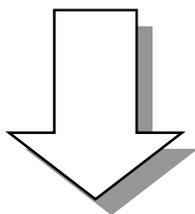
1.2 検討の目的

課題

点検結果：
目視点検の結果，非常用取水路では曲げひび割れと考えられる損傷が認められない。



解析結果：
最大応答値 M_d は，ひび割れ発生曲げモーメント M_{cr} を上回り，取水路や補機冷却用海水取水路においては降伏曲げモーメント M_y に近い値を示す。



仮説

地震応答解析において，応答値や強度が保守的になるように条件を設定していることが原因なのではないか？

目的

より現実的な条件設定に基づいた地震応答解析により最大応答値を評価すること

1.3 検討の方法

目的

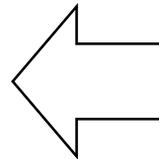
より現実的な条件設定に基づいた地震応答解析により最大応答値を評価すること

検討の方法

現実的な条件の設定

着目点 : コンクリート, 鉄筋の材料強度に実強度を適用

着目点 : 対象設備の近接構造物の存在を考慮



1.4-1 解析条件（実強度の適用）

着目点 コンクリート，鉄筋の材料強度に実強度を適用

		変更前	変更後
コンクリート (設計基準強度 24N/mm ²)	圧縮強度	24N/mm ²	48N/mm ² ¹
	ヤング係数	25kN/mm ²	32.6kN/mm ² ²
鉄筋 (SD345)	降伏強度	350N/mm ²	390N/mm ² ³
	ヤング係数	200kN/mm ²	

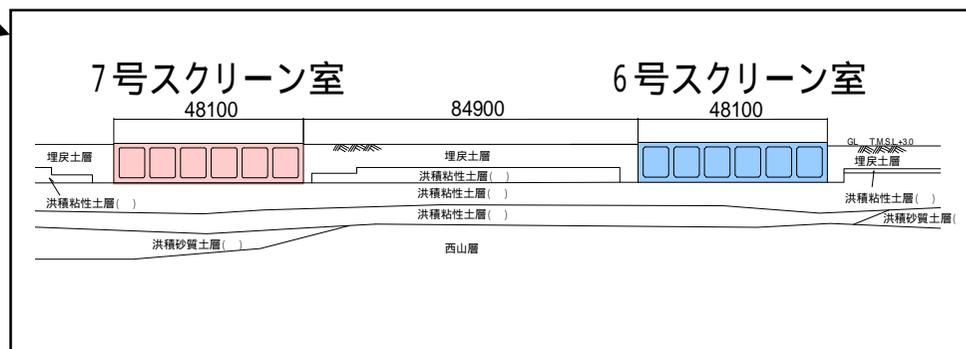
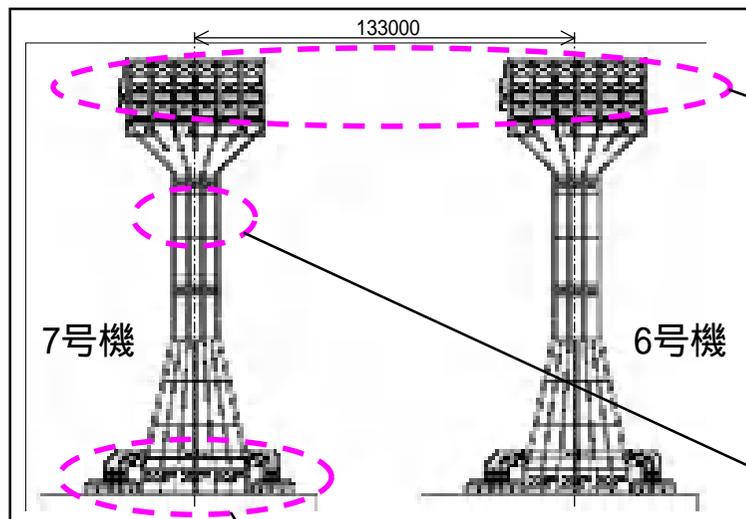
- 1 実機(2～7号機非常用取水路)から採取したコア強度(試験体数40本)の平均値を適用
- 2 コンクリート標準示方書に示された圧縮強度とヤング係数の関係を用いて算定
- 3 建設時のミルシートに記載された試験結果の平均値を適用

なお，ひび割れ発生曲げモーメント M_{cr} の算定においては，コンクリート引張強度(f_t)に代えて，曲げ強度(f_{bc})を採用した。

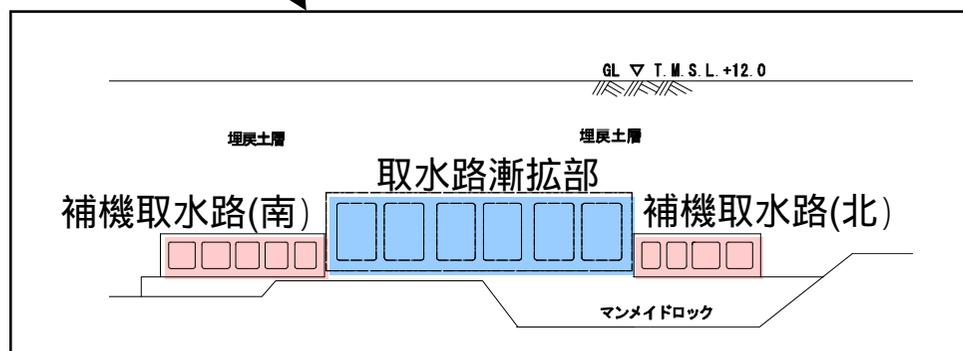
1.4-2 解析条件（近接構造物の反映）

着目点 対象設備の近接構造物の存在を考慮

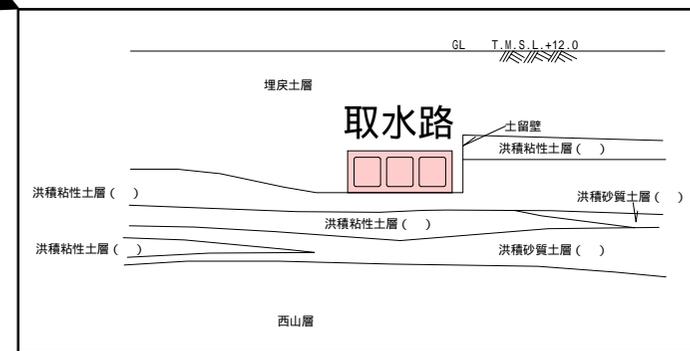
: 評価対象設備
 : 近接構造物



近接構造物: 6号機スクリーン室



近接構造物: 取水路漸拡



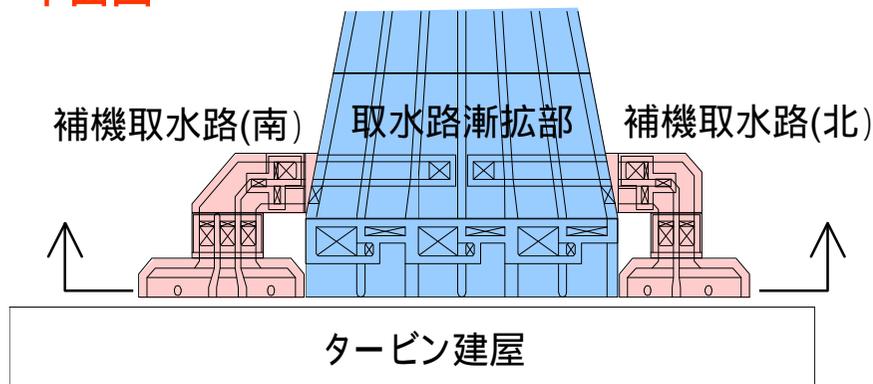
近接構造物: なし

1.4-2 解析条件（近接構造物の考慮）

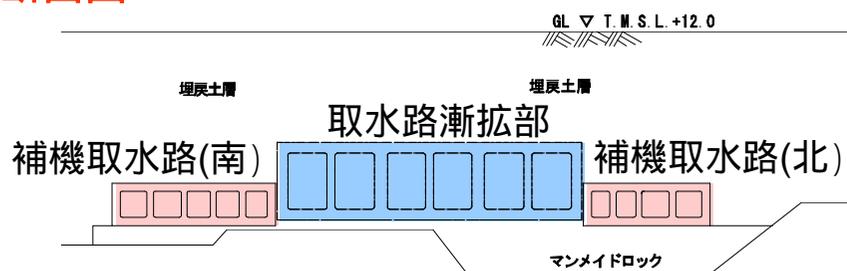
(1) 補機冷却用海水取水路

7号機補機冷却用海水取水路(南側および北側)の解析モデルに, 近接する7号機取水路漸拡部を等価な剛性のソリッド要素でモデル化した場合の影響検討を実施した。

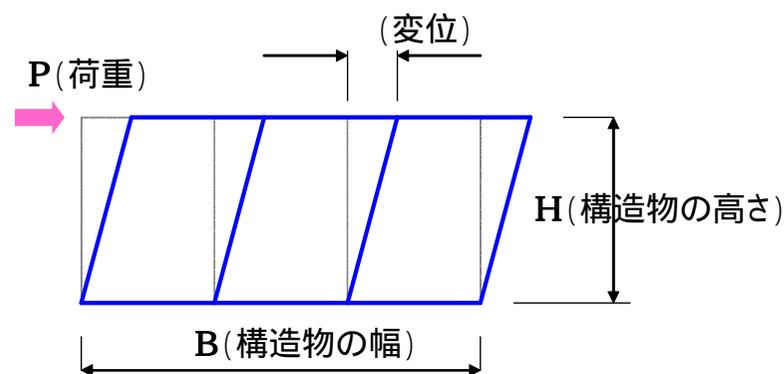
平面図



断面図



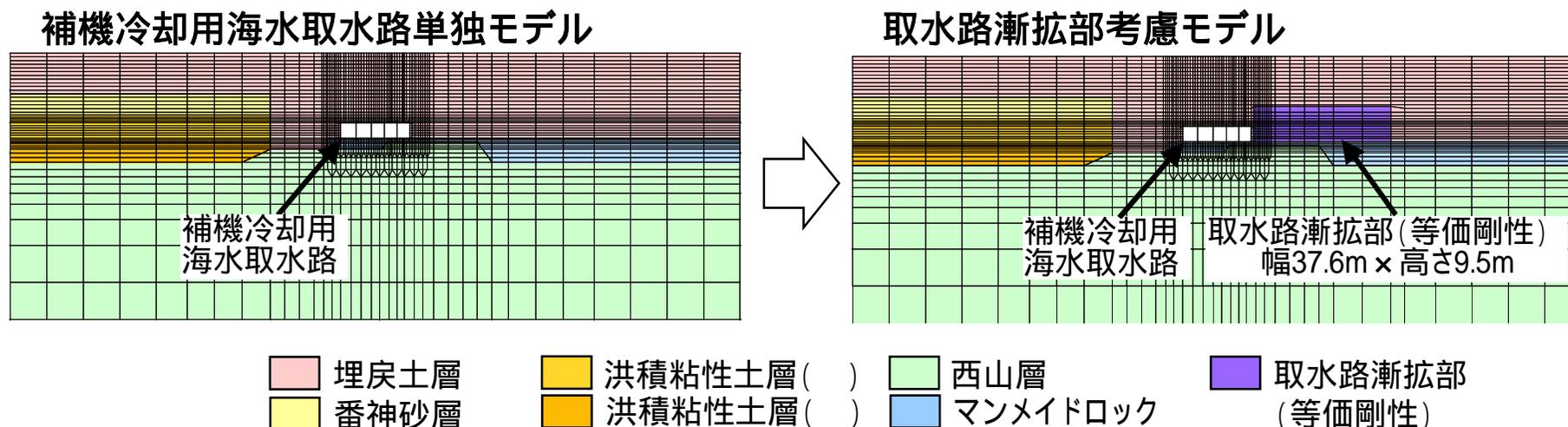
取水路漸拡部の
等価剛性 G_{eq} の算定方法
(二次元フレーム解析)



$$G_{eq} = \frac{\tau_s}{\gamma_s} = \frac{P/B}{\delta/H} = \frac{PH}{\delta B}$$

1.4-2 解析条件（近接構造物の考慮）

補機冷却用海水取水路（南側）の解析モデル変更の場合



地震応答解析結果

	構造物相対変位	層間変形角	時刻	せん断最小安全率
補機冷却用海水取水路 単独	3.3mm	0.080/100	8.16sec	1.25
取水路漸拡部考慮	2.3mm	0.055/100	8.06sec	1.74

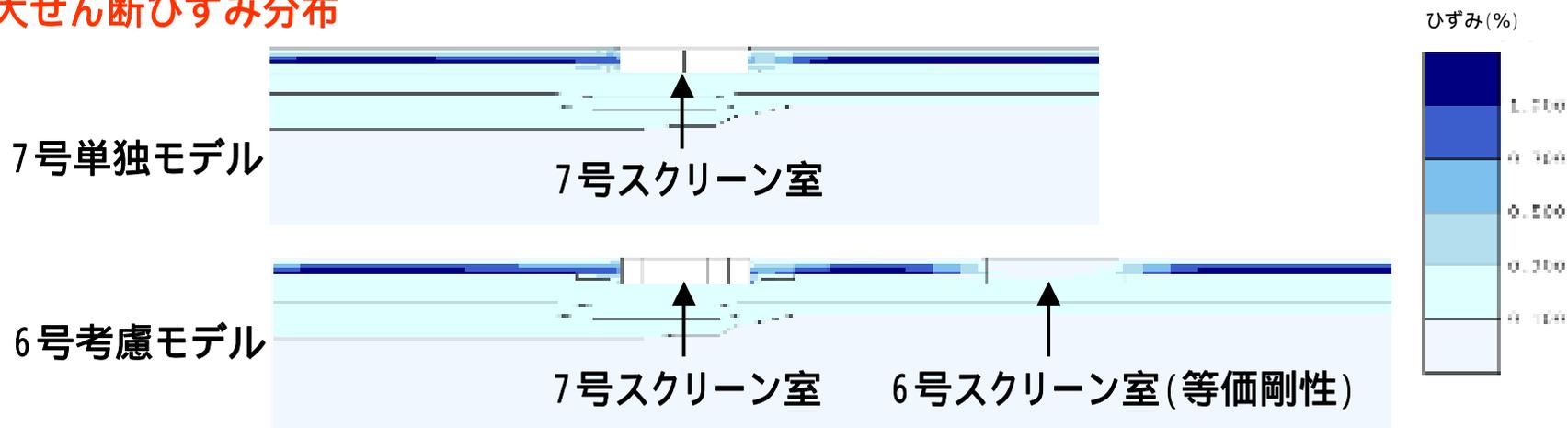
取水路漸拡部を考慮することにより、補機冷却用海水取水路の変形が抑制される傾向があることを確認した。
今回の検討では取水路漸拡部を考慮する。

1.4-2 解析条件（近接構造物の考慮）

(2) スクリーン室

7号機スクリーン室の解析モデルに、近接する6号機スクリーン室を等価な剛性のソリッド要素でモデル化した場合の影響検討を実施した。

最大せん断ひずみ分布



地震応答解析結果

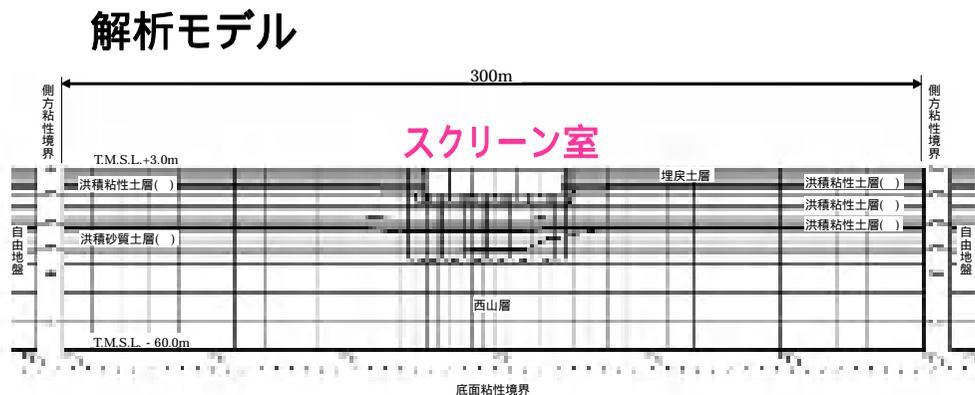
	構造物相対変位	層間変形角	時刻	せん断最小安全率
7号スクリーン室単独	2.5mm	0.028/100	11.38sec	2.79
6号スクリーン室考慮	2.5mm	0.028/100	11.38sec	2.75

6号機スクリーン室近傍で地盤の拘束効果は認められるものの、7号機スクリーン室の応答にはほとんど影響を及ぼさないことを確認した。

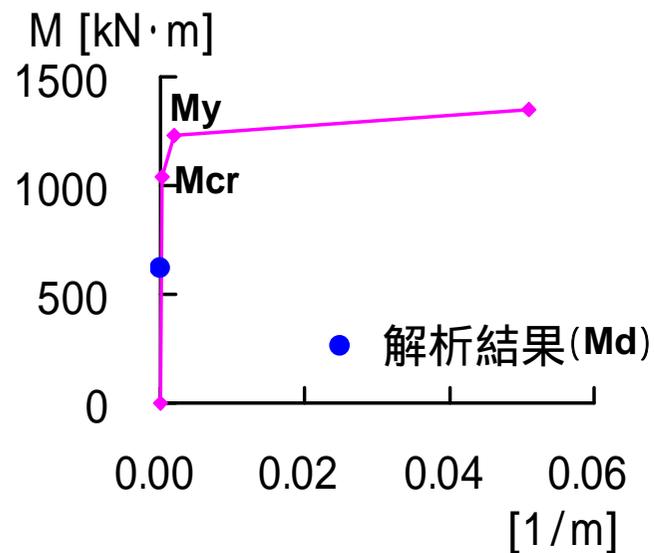
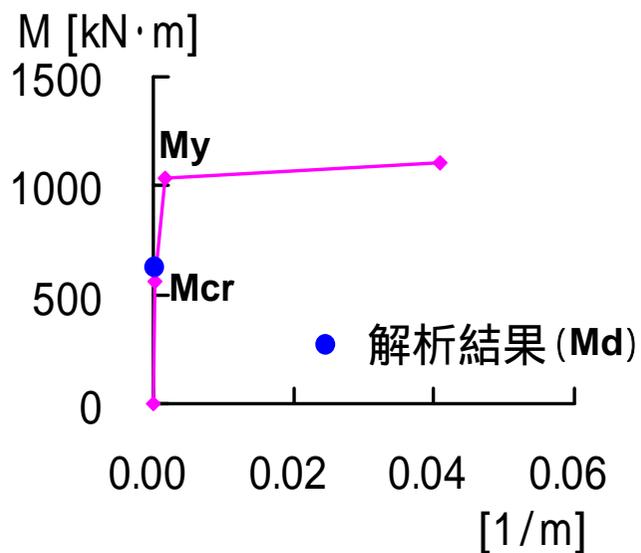
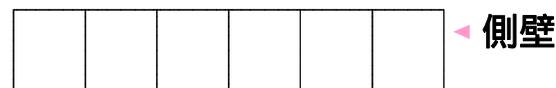
今回の検討では6号機スクリーン室を考慮しない。



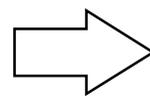
1.5 解析結果 (スクリーン室)



照査位置



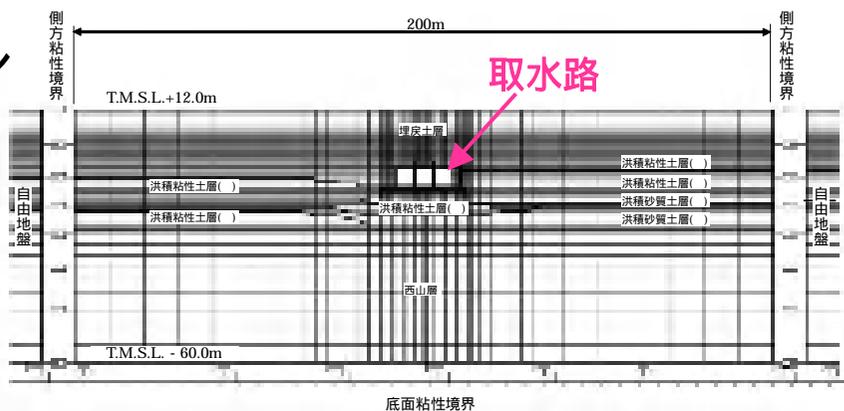
材料強度	設計値
近接構造物	考慮しない



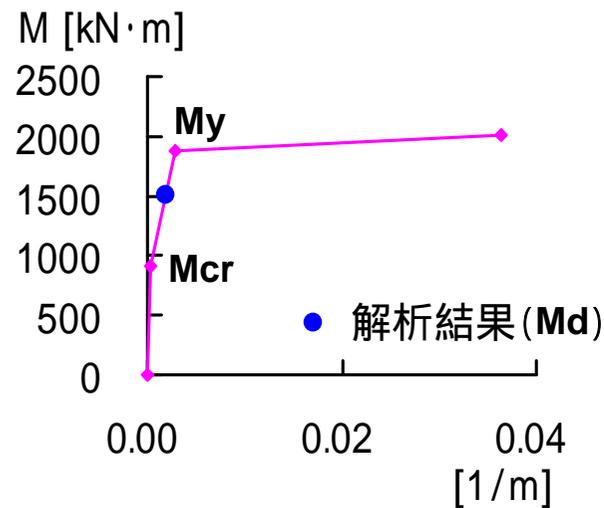
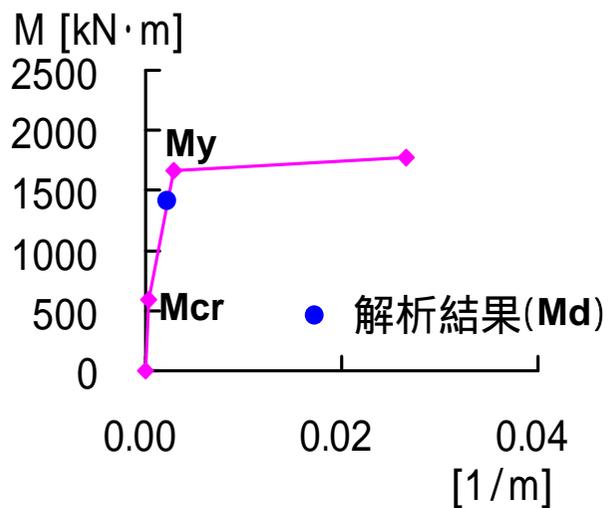
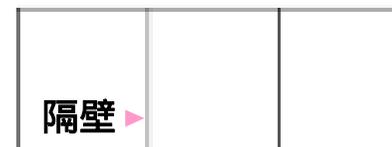
材料強度	実強度
近接構造物	考慮しない

1.5 解析結果 (取水路)

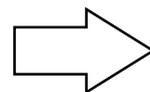
解析モデル



照査位置

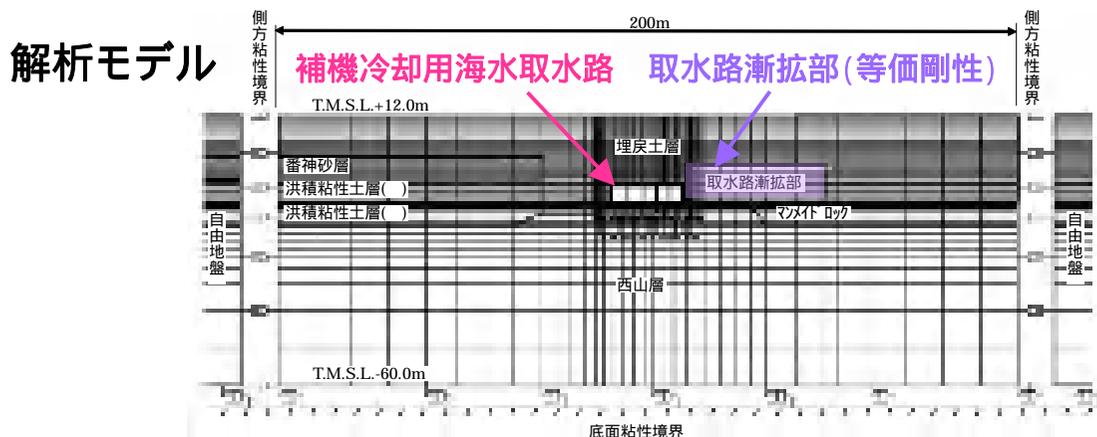


材料強度	設計値
近接構造物	考慮しない

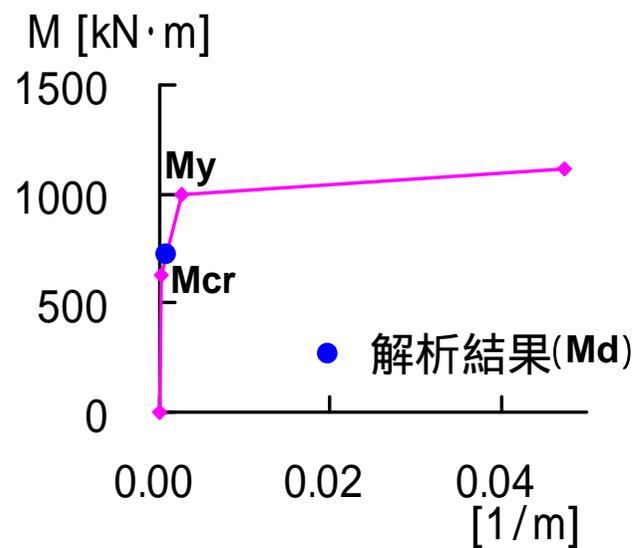
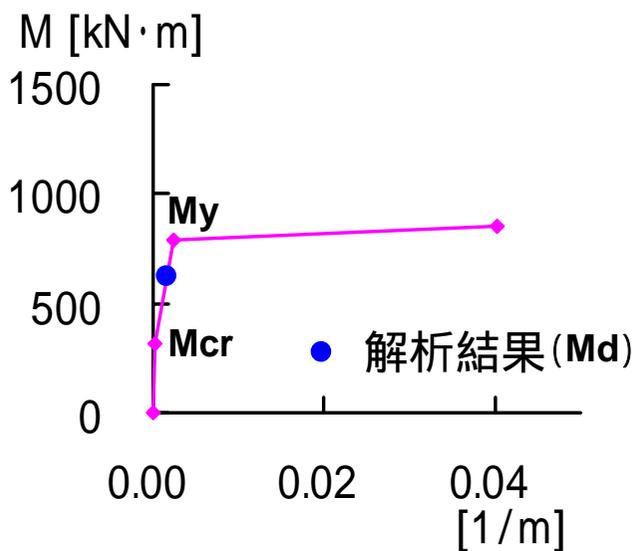
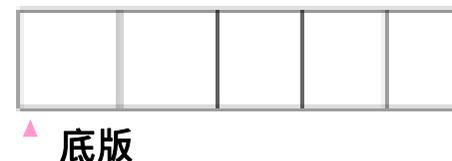


材料強度	実強度
近接構造物	考慮しない

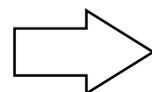
1.5 解析結果（補機冷却用海水取水路(南側)）



照査位置



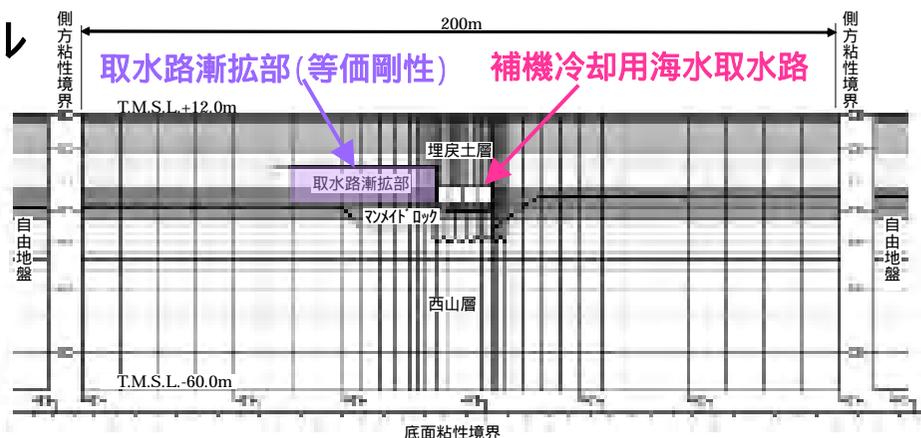
材料強度	設計値
近接構造物	考慮しない



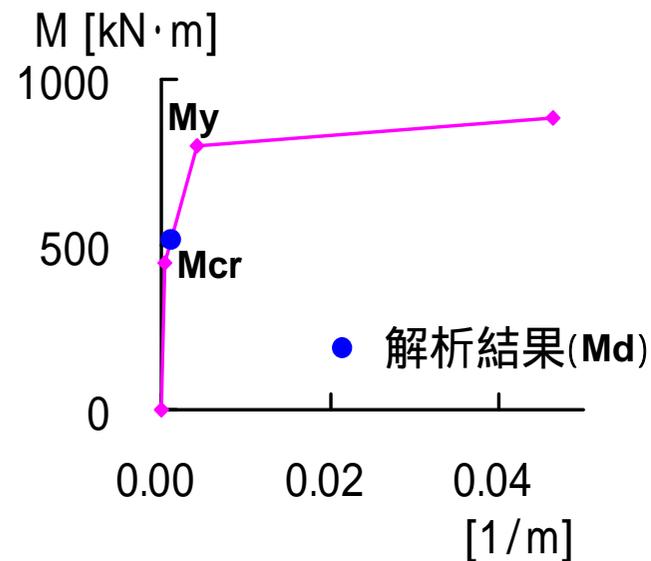
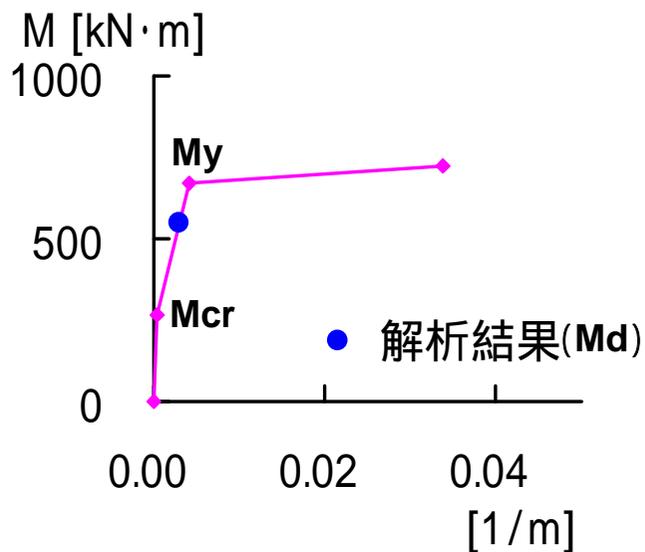
材料強度	実強度
近接構造物	考慮する

1.5 解析結果（補機冷却用海水取水路(北側)）

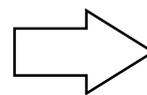
解析モデル



照査位置



材料強度	設計値
近接構造物	考慮しない



材料強度	実強度
近接構造物	考慮する

1.6 まとめ

	変更前		変更後		
	Md/My	Md/Mcr	変更点	Md/My	Md/Mcr
スクリーン室	0.60	1.11	材料強度	0.50 (0.83)	0.60 (0.54)
取水路	0.85	2.36	材料強度	0.80 (0.94)	1.65 (0.70)
補機冷却用海水 取水路(南側)	0.79	1.98	材料強度 近接構造物	0.72 (0.91)	1.15 (0.58)
補機冷却用海水 取水路(北側)	0.82	2.07	材料強度 近接構造物	0.64 (0.78)	1.16 (0.56)

括弧内は変更後と変更前の比

スクリーン室

最大応答値Mdは、ひび割れ発生曲げモーメントMcrを下回る。

取水路および補機冷却用海水取水路

最大応答値Mdは、ひび割れ発生曲げモーメントMcrを上回るものの、Md/McrおよびMd/Myは変更前より小さな値を示す。

目次

1

より現実的な条件設定に基づく地震応答解析による評価

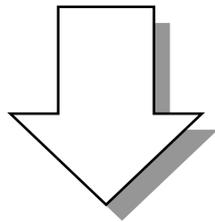
2

耐震余裕に関する解析的検討

2.1 検討の背景と目的

背景

基準地震動S2を上回る地震動が作用したにもかかわらず、点検結果によれば、7号機非常用取水路は地震による損傷をほとんど受けていないと考えられる。



仮説

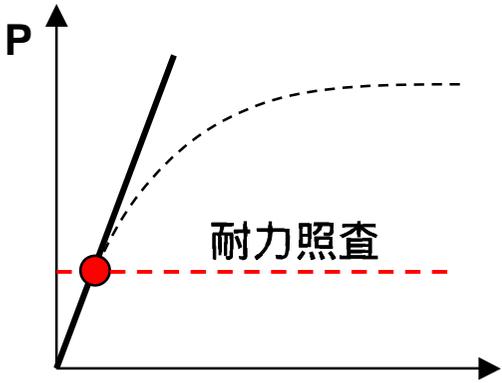
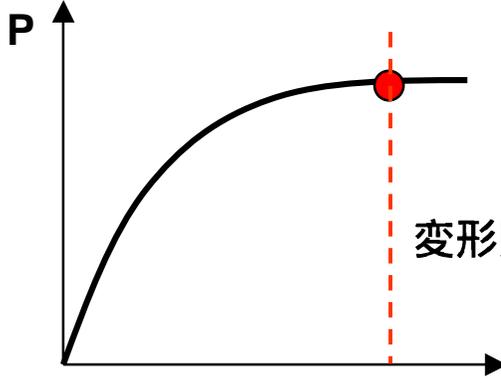
設計で想定していた地震動よりも大きな外力に対して、設計法のもつ保守性により、実際にはより大きな耐力を有しているのではないか？（耐震余裕）

目的

最新の地震応答解析手法を適用して、7号機非常用取水路がどの程度の地震力に耐えることができるかを検討するとともに、なぜそのような耐震余裕を有しているかについて考察する。

検討対象構造物：取水路(一般部)

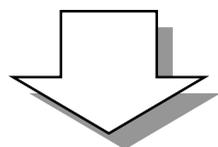
2.2 設計法の高度化に関わる耐震余裕

	設 計	今回評価
地震応答 解析手法	線形解析(動的FEM) 地盤:等価線形 部材:弾性	非線形解析(動的FEM) 地盤:非線形(R-Oモデル) 部材:非線形(トリリニアモデル)
照査手法	許容応力度照査 (限界値: 鉄筋の許容応力 350N/mm^2)	変形照査 (限界値:層間変形角 $1/100$)
設計上の 限界値の イメージ		

2.3 検討の方法

目的

- 今回の地震による最大応答時の構造物の状態を把握すること
- 構造物がせん断変形を受ける場合の挙動を精度よく推定すること



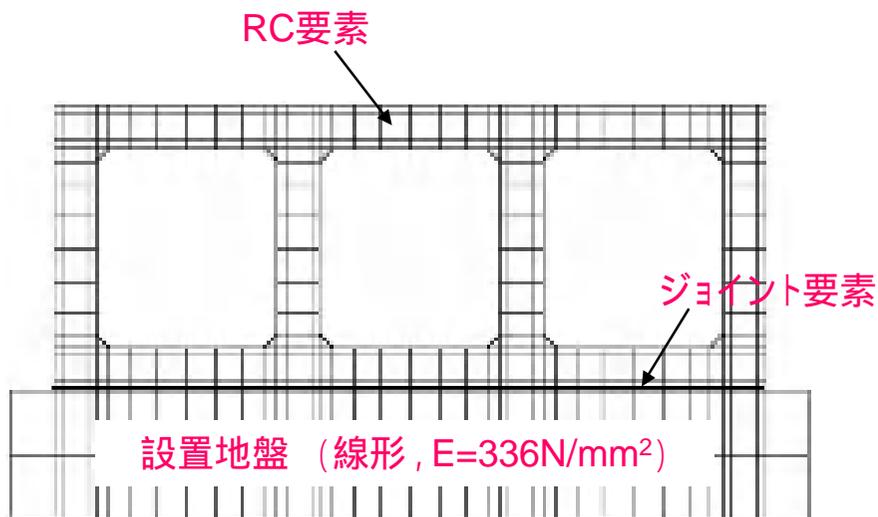
- 構造物がどの程度の地震動に耐えることができるかを推定すること
- なぜそのような耐震余裕を有しているかを考察すること

検討の方法

プッシュオーバー解析
(材料非線形モデル)

構造物 - 地盤連成解析
(部材非線形モデル)

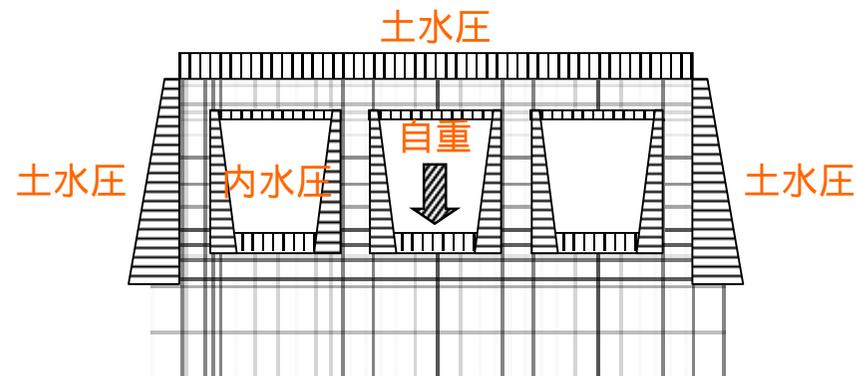
2.4-1 検討の手順（プッシュオーバー解析）



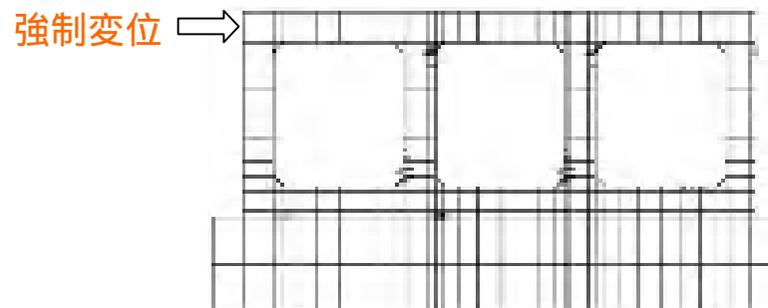
材料強度
 $f'_c=48.0\text{N/mm}^2$
 $f_t=3.04\text{N/mm}^2 (=0.23f'_c)^{2/3}$
 $f_y=390\text{N/mm}^2$

解析モデル

(1) 常時荷重の載荷

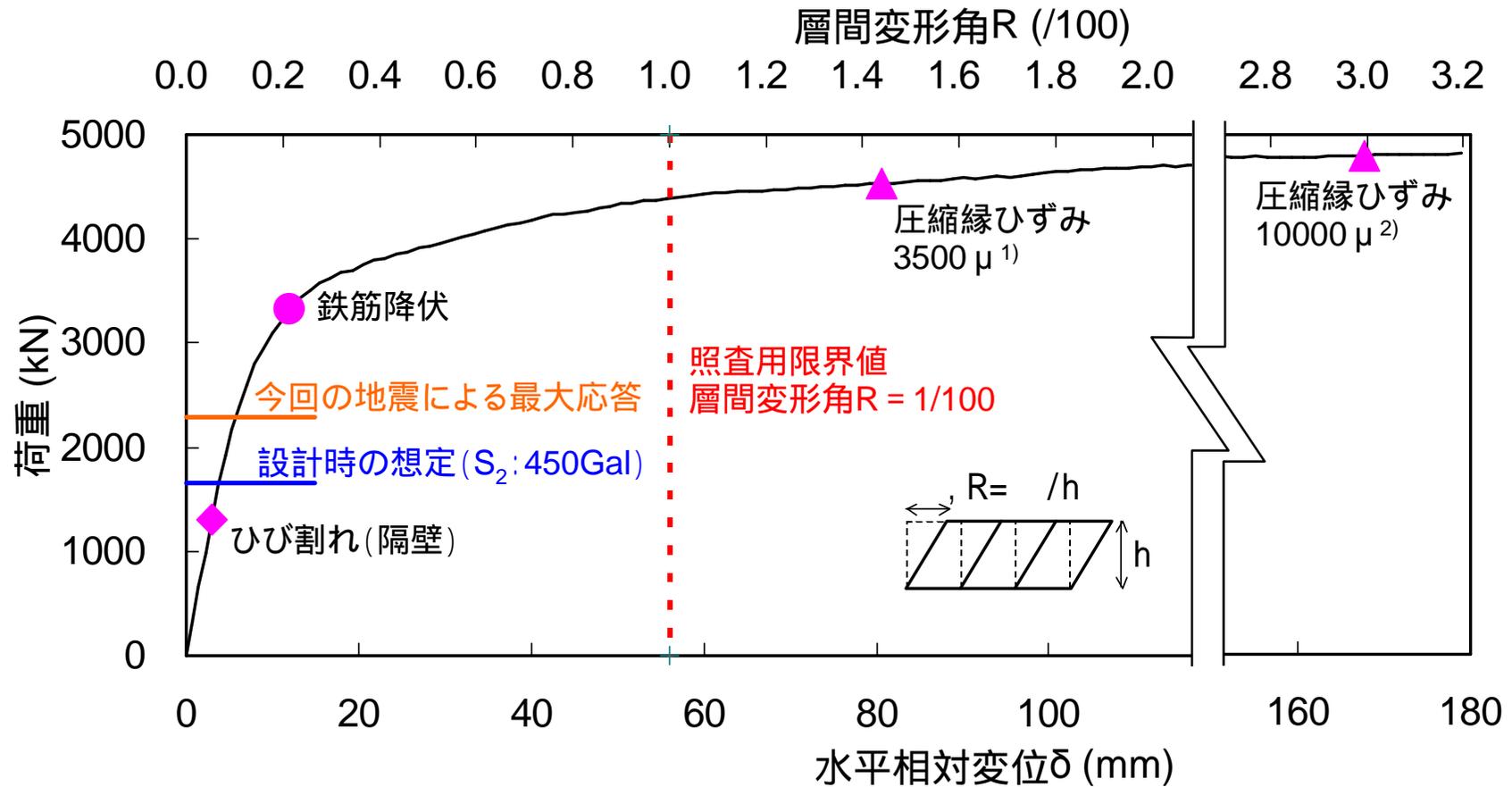


(2) 強制変位の入力(プッシュオーバー)



解析手順

2.4-2 検討結果 (プッシュオーバー解析)



- 1) コンクリートの応力 - ひずみ曲線における終局圧縮ひずみ ϵ_{cu}
(コンクリート標準示方書, 土木学会, 2007)
- 2) コンクリートの剥離が生じる時点の圧縮縁コンクリートひずみ
(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル, 土木学会, 2005)

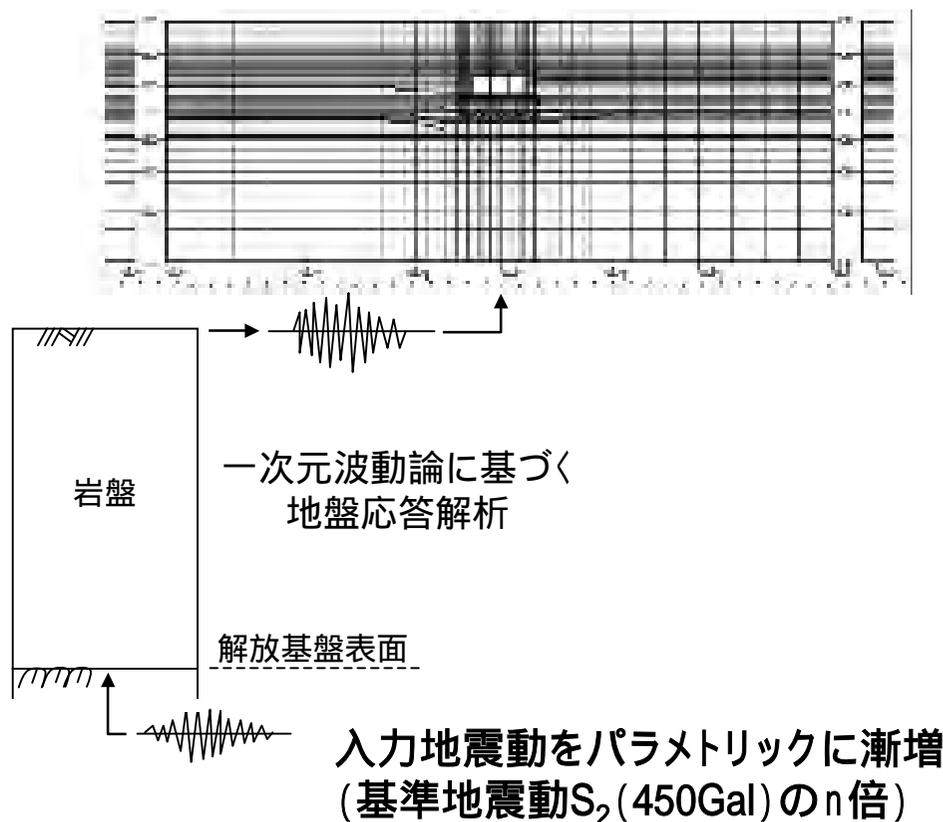
プッシュオーバー解析(材料非線形モデル)による荷重 - 変位関係

2.4-3 まとめ（プッシュオーバー解析）

目的	検討結果
今回の地震による最大応答時の構造物の状態を把握すること	<ul style="list-style-type: none">■ 今回の地震による最大荷重では、ひび割れが発生する可能性はあるものの、鉄筋降伏には至らない。■ 今回の地震による最大変形量は、曲げ変形に対する照査用限界値（層間変形角$R=1/100$、または、圧縮縁コンクリートひずみ10000μ）と比較すると十分小さい。
構造物がせん断変形を受ける場合の挙動を精度よく推定すること	<ul style="list-style-type: none">■ 取水路は曲げ先行型の損傷形態を示し、せん断破壊しない。■ 層間変形角$R = 1/100$を上回る変形を与えても、耐力が低下しない。

2.5-1 検討の手順（地盤 - 構造物連成解析）

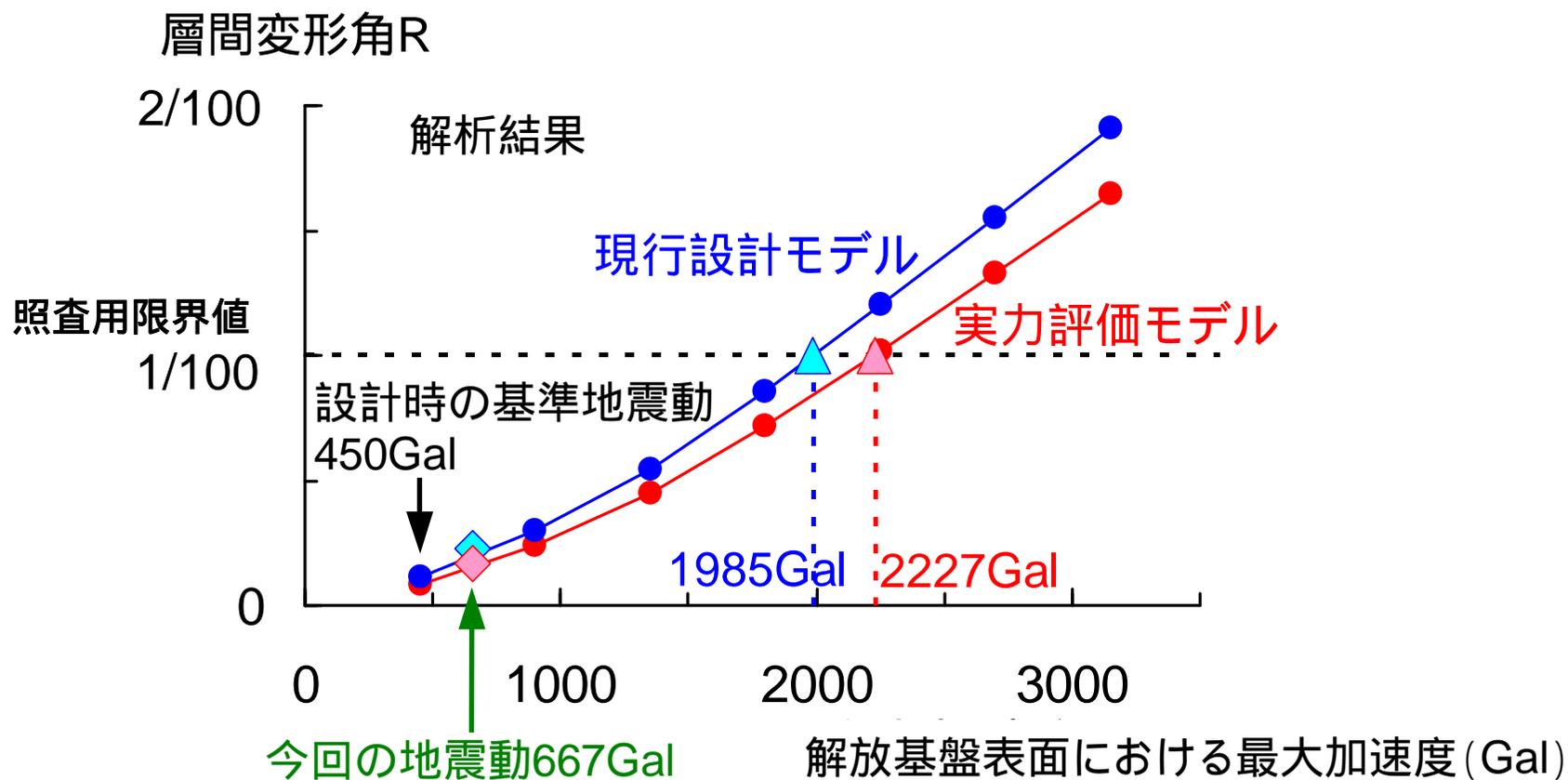
構造物 - 地盤連成解析(部材非線形モデル)を用いて,入力地震動を徐々に大きくすることにより,照査用限界値に達する加速度レベルを試算する。



現行設計モデル
耐震性能照査指針・マニュアル
(土木学会)に準拠

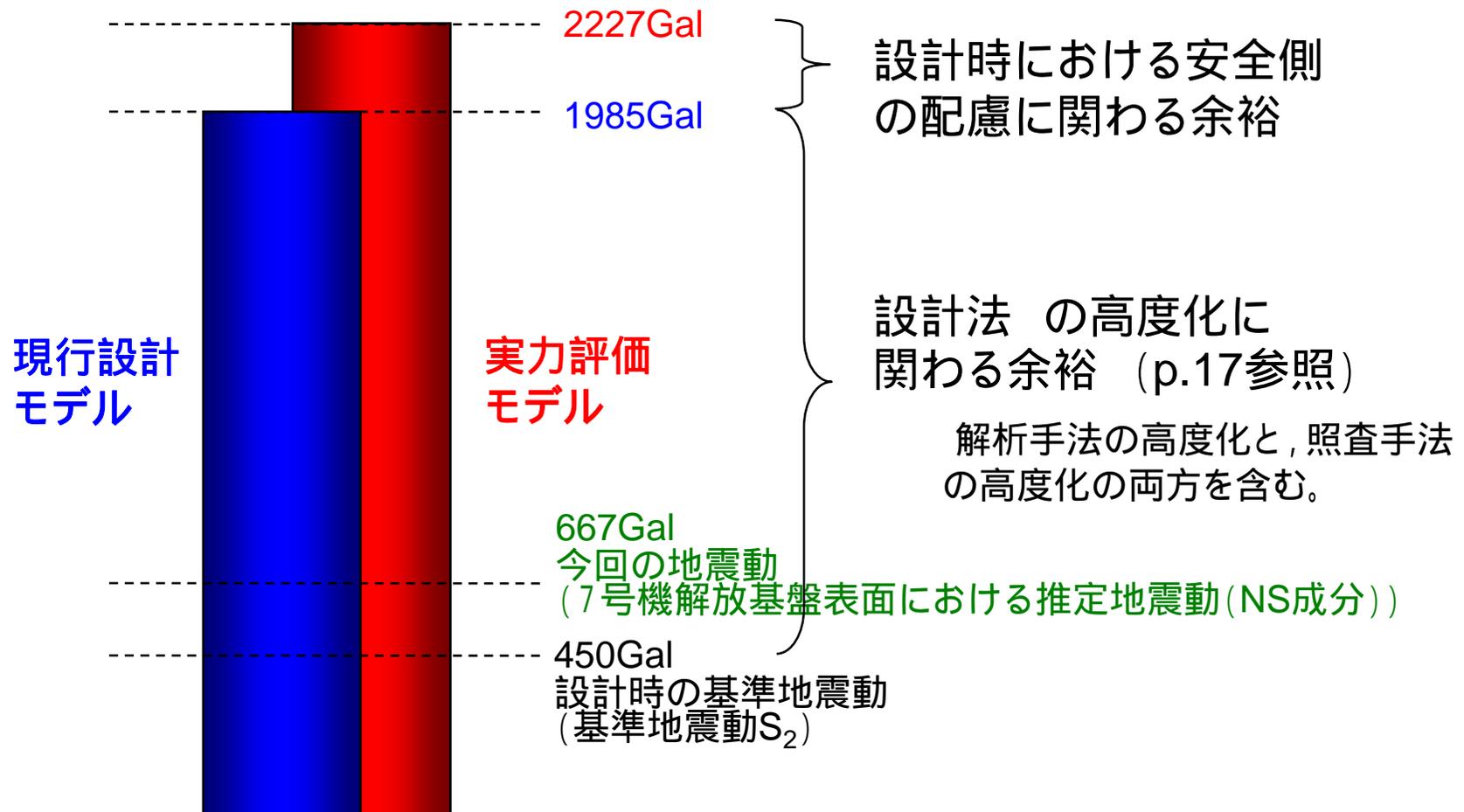
実力評価モデル
上記モデルに実強度を適用

2.5-2 検討結果（地盤 - 構造物連成解析）



	照査用限界値 (R = 1/100) に達する加速度レベル
実力評価モデル	2227Gal
現行設計モデル	1985Gal

2.5-3 解析結果の解釈（地盤 - 構造物連成解析）



2.5-4 まとめ（地盤 - 構造物連成解析）

目的	検討結果
構造物がどの程度の地震動に耐えることができるかを推定すること	<ul style="list-style-type: none">■取水路が曲げ変形に対する照査用限界値に達する時の加速度レベルは次のとおりである。 実力評価モデル: 2227Gal 現行設計モデル: 1985Gal
なぜそのような耐震余裕を有しているかを考察すること	<p>以下の2つの要因が考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none">■設計法の高度化(解析手法の高度化と照査手法の高度化)■設計時における安全側の配慮(材料強度に設計値を用いていること)