

多摩川第三発電所水路工作物の 耐震性能照査について

平成 28 年 3 月

東京都交通局

目 次

1. 調査対象設備の概要.....	1
2. 耐震性能照査の概要.....	3
3. 発電所施設の要求性能、限界状態と照査基準の設定.....	4
4. レベル2地震動の設定.....	5
5. 取水口施設の耐震性能照査.....	6
6. 導水路トンネルの耐震性能照査.....	8
7. 水圧鉄管路・サージタンクの耐震性能照査.....	9
8. 放水口施設の耐震性能照査.....	11
9. その他設備の耐震性能照査.....	12
10. 多摩川第三発電所のレベル2地震動に対する総合安全評価.....	12

1. 調査対象設備の概要

多摩川第三発電所は、白丸調整池から取水した水を圧力トンネル、サージタンクおよび水圧鉄管路を経由して、約 5km 下流に送水し発電を行っている。

本調査で対象とする多摩川第三発電所施設の諸元は以下のとおりであり、照査対象施設を表 1.1 に示す。

【多摩川第三発電所】

運転開始	昭和 38 年 2 月
発電方式	ダム水路式
流域面積	397.0km ²
最大出力	16,400kW
最大使用水量	28.00m ³ /s
最大有効落差	70.55m



図 1.1 多摩川第三発電所

表 1.1 照査対象施設一覧

照査対象施設		規 格	数 量
取水口施設	門柱	鉄筋コンクリート造 高さ：15.9m 幅：1.5m	1 基
	ゲート	ローラーゲート(巻上機含む) 高さ：3.6m 幅：3.6m	1 門
導水路トンネル		鉄筋コンクリート造 標準馬蹄形トンネル 延長：5,085m	2 断面
サージタンク		鉄筋コンクリート造 非越流制水口単動型 直径：8.0m～16.0m 高さ：32.4m	1 基
水圧鉄管路		溶接鉄管 管径：φ2.8m～3.2m 延長：189.5m	1 式
放水口施設	放水庭	2 連門型架構 延長：23.7m	1 断面
	放水路	鉄筋コンクリート造 無圧式標準馬蹄型 直径：φ3.8m 延長：45m	1 断面
その他設備		操作盤・ケーブルルート 予備電源装置・建屋等	1 式

(参考：平成 25 年度に耐震性能照査を実施済み)

白丸調整池ダム：(形式) コンクリート重力式

(堤高) 30.3m、(堤頂長) 61.0m、(堤体積) 14.141 千 m³、

(総貯水量) 892.9 千 m³、有効容量 300 千 m³



図 1.2 多摩川第三発電所施設配置（平面図）

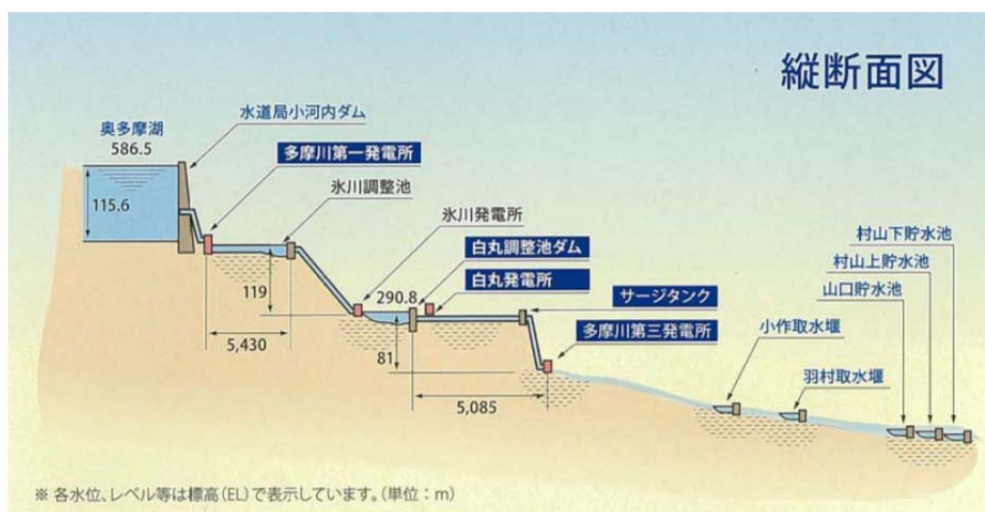


図 1.3 多摩川第三発電所施設配置（縦断面図）

2. 耐震性能照査の概要

多摩川第三発電所は、東京都交通局が行う電気事業の主要施設であるとともに、水路工作物が東京都道 45 号奥多摩青梅線と交差している。そのため、当該発電所の水路工作物がレベル 2 地震動により大きな損傷を受けた場合には、発電の長期停止による安定的な電力供給への支障のみならず、多大な第三者被害の発生が懸念される。

そこで、下記の①～③について実施し、多摩川第三発電所の水路工作物の耐震性を評価した。

なお、取水口が位置する白丸貯水池の白丸調整池ダム(コンクリート重力式、堤高 30.3m)については、平成 25 年度に「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説」(国土交通省河川局、平成 17 年 3 月)に基づく耐震性能照査を実施している。そこで、その照査結果と、本調査で実施する水路工作物の耐震性能照査結果を総合的に評価することで、下記④に示す多摩川第三発電所の総合安全評価についても実施した。



図 2.1 白丸調整池ダム

表 2.1 多摩川第三発電所耐震性能照査の実施項目

	検討項目
①	各施設のレベル 2 地震動に対する要求性能、限界状態と照査基準の設定
②	レベル 2 地震動の設定
③	各施設のレベル 2 地震動に対する耐震性能照査 (取水口施設、導水路トンネル、サージタンク、水圧鉄管路、放水口施設、その他関連設備)
④	多摩川第三発電所のレベル 2 地震動に対する総合安全評価

3. 発電所施設の要求性能、限界状態と照査基準の設定

発電所水路工作物の耐震性能照査については、「水力発電設備の耐震性能照査マニュアル」（経済産業省原子力安全・保安院、平成 24 年 2 月）に主要な設備の照査方法の「標準的な」考え方とケーススタディが示されている。しかしながら、当該発電所で照査対象となる全ての施設に対しての耐震性能照査方法が示されている訳ではない。また、照査対象施設の要求性能や限界状態、照査方法については、照査対象施設の構造特性や材料特性、設置される地点特性を考慮して適切に定めることとされている。

そこで、多摩川第三発電所では、発電所施設のレベル 2 地震動に対する耐震性能を照査するうえで必要となる、各施設の「要求性能」、「限界状態」、「照査基準」を、「水力発電設備の耐震性能照査マニュアル 平成 24 年 2 月 経済産業省原子力安全・保安院、第 1 編 水力発電設備の耐震性能照査の方法」等を参考に設定した。各施設の要求性能を表 3.1 に、限界状態、照査基準は各施設の耐震性能照査の項で示す。

表 3.1 多摩川第三発電所各施設の要求性能

対象施設	要求性能 1	要求性能 2
	公衆災害の原因とならないための要求性能	発電機能に対する要求性能
取水口施設 導水路トンネル サージタンク 水圧鉄管路 放水口施設	地震時に損傷を受けたとしても、周辺に影響を与える漏水が生じないこと。取水口施設、導水路トンネル、サージタンク、水圧鉄管路、放水口施設の損傷により第三者被害を及ぼさないこと。	地震時に損傷を受けたとしても、取水機能が維持され、所定の期間内に修復可能であること。
その他設備	地震時に損傷を受けたとしても、取水口施設、導水路トンネル、サージタンク、水圧鉄管路および放水口施設の機能が維持されること。その他設備の損傷により第三者被害を及ぼさないこと。	地震時に損傷を受けたとしても、取水口施設、導水路トンネル、サージタンク、水圧鉄管路および放水口施設の機能が維持されること。

4. レベル2地震動の設定

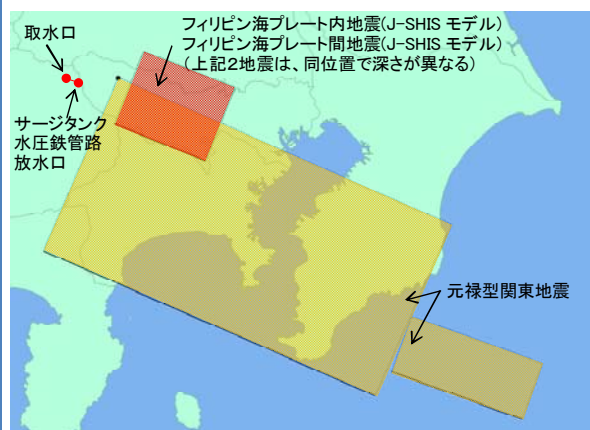
多摩川第三発電所水路工作物の耐震性能照査に用いるレベル2地震動（対象地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動）を設定した。

レベル2地震動の設定は、「水力発電設備の耐震性能照査マニュアル」（経済産業省原子力安全・保安院、平成24年2月）、「大規模地震に対するダム耐震性能照査指針（案）・同解説」（国土交通省河川局、平成17年3月）および指針（案）の公開後に発表された関連論文「大規模地震に対するダム耐震性能照査について」（三石・島本、ダム技術 No.274、2009年7月）に基づいて、多摩川第三発電所に大きな影響を及ぼす可能性がある地震を文献調査により整理し、「ダムの距離減衰式(H23式)」を用いて設定した。

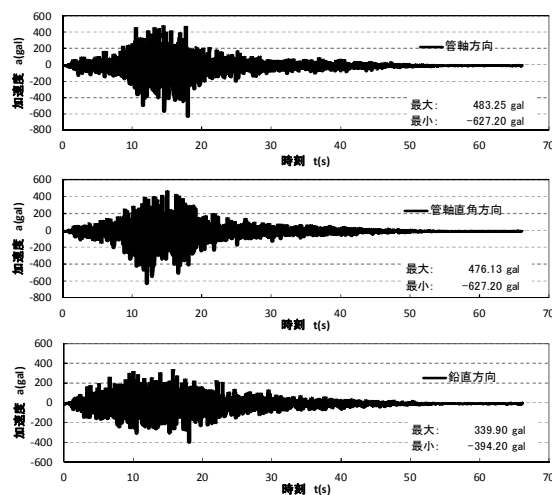
耐震性能照査に用いるレベル2地震動の断層情報は、白丸調整池ダムの耐震性能照査で用いたレベル2地震動との整合を図るため、平成25年度に用いられた断層情報を採用した。照査対象施設は取水口から放水口間で5km程度離れているため、レベル2地震動は取水口、導水路トンネル（2箇所）、発電所近傍（サージタンク、水圧鉄管路、放水口）の2箇所に對して作成した。

なお、最新の断層情報に基づくレベル2地震動は別途整理を行い、本検討で耐震性能照査に用いた地震動と大きさ等を比較整理した。

対象施設に最も影響が大きいと考えられる想定地震として、「フィリピン海プレート内地震（J-SHISモデル）」を選定し、ダムの距離減衰式(H23式)により地震動を作成した。



対象施設と想定地震位置



地震動作成例（水圧鉄管路位置）

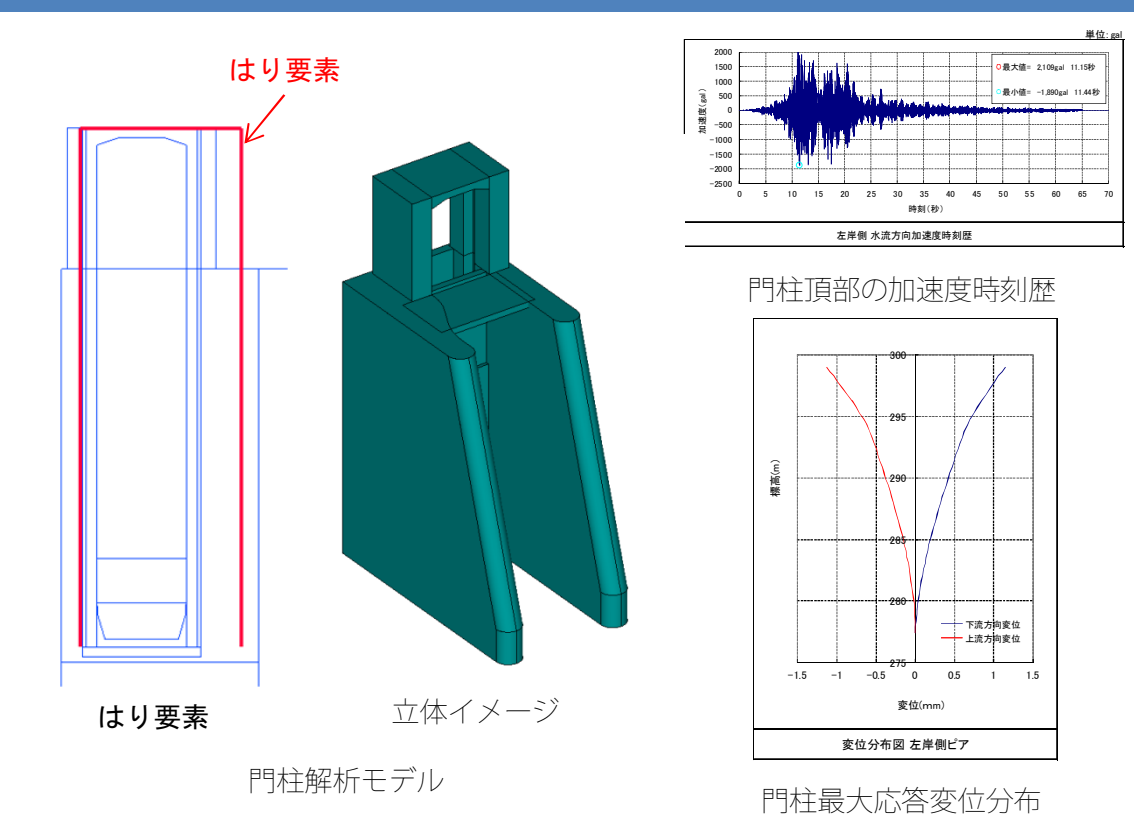
5. 取水口施設の耐震性能照査

取水口施設の耐震性能照査は、3章で示した耐震性能を満足するかを照査するうえで必要となる構造物として門柱・ゲート（扉体・ローラー部・戸当たり）・巻上機を選定した。限界状態および照査基準は、各構造物の材料（鉄筋コンクリート製、鋼製）、機能等を考慮して設定し、耐震解析で得られた断面力や応力に対して耐震性能を照査した。

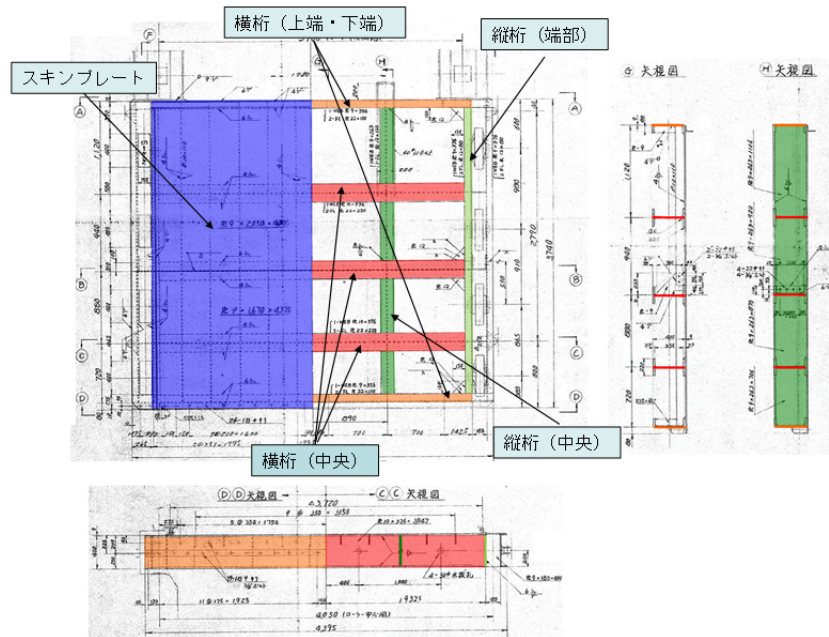
レベル2 地震動に対する限界状態と照査基準（要求性能1、2共通）を以下のとおり設定した。

対象構造物	限界状態	照査基準
門柱	・軽微なひび割れが生じるが、所定の期間内に修復可能な状態	発生曲げモーメント $\leq$ 許容曲げ耐力 発生せん断力 $\leq$ 許容せん断耐力
ゲート扉体	・塑性化が生じるが、所定の期間内に修復可能な状態	発生応力度 $\leq$ 許容応力度 発生ひずみ $\leq$ 許容ひずみ
ローラー部 戸当たり	・力学的特性が弾性域を超えない状態	発生応力度 $\leq$ 降伏強度
巻上機	・ゲートが自重降下可能である状態 ・ゲートが巻上可能である状態	抵抗力 $<$ 締切り力 抵抗力 $<$ 巻上能力

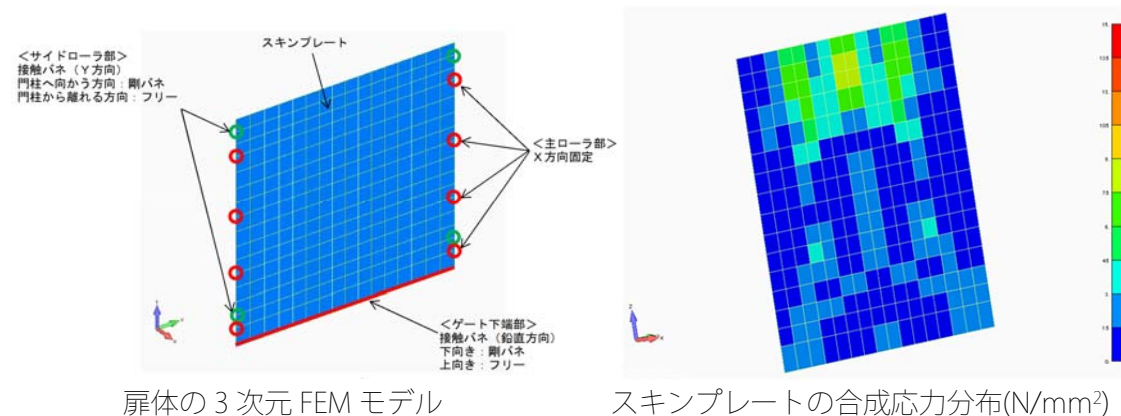
門柱の耐震性能照査は、部材をはり要素でモデル化したフレーム構造モデルによる非線形動的解析を行い、得られた断面力に対して行った。



ゲート扉体の耐震性能照査は、部材をはり要素及びシェル要素でモデル化した 3 次元モデルによる線形静的解析を行い、得られた応力に対して行った。ローラー部及び戸当たりの耐震性能照査は、線形静的解析で得られたローラー位置の反力を用いた構造計算により行った。



ゲート扉体一般図



扉体の 3 次元 FEM モデル

スキンプレートの合成応力分布(N/mm²)

巻上機の耐震性能照査は、門柱の耐震性能照査において、残留変形が生じる結果となった場合、操作性について照査を行うこととした。

- ・ゲートが自重降下可能であるか否か → 抵抗力<締切り力
- ・ゲートが巻上可能であるか否か → 抵抗力<巻上能力

6. 導水路トンネルの耐震性能照査

導水路トンネルの耐震性能照査は、3章で示した耐震性能を満足するかを照査するために、代表断面に対する検討を行った。代表断面は、山岳トンネルの地震時挙動は岩盤の動きに支配され、地震時の安定性に影響するのは主にトンネル上部と下部の相対変位であることを考慮し、大きな相対変位が生じやすい土被りが浅くなる箇所から、トンネル覆工パターンの異なる2断面を選定した。

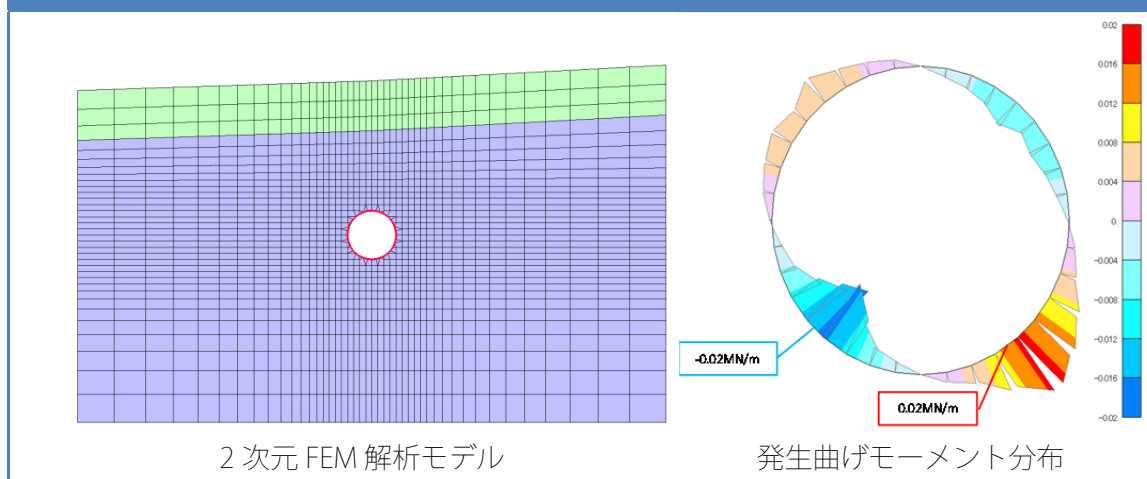
解析は応答震度法によるものとし、作用させる震度は、一次元重複反射理論による動的解析を行い岩盤内の深度方向の加速度分布を算出して設定した。

限界状態および照査基準は、トンネル覆工の材料（鉄筋コンクリート製）、機能等を考慮して設定し、耐震解析で得られた断面力に対して耐震性能を照査した。

レベル2 地震動に対する限界状態と照査基準（要求性能1、2共通）を以下のとおり設定した。

対象構造物	限界状態	照査基準
導水路トンネル	・ 軽微なひび割れが生じるが、所定の期間内に修復可能な状態	発生曲げモーメント $\leq$ 許容曲げ耐力 発生せん断力 $\leq$ 許容せん断耐力

耐震性能照査は、トンネル覆工をはり要素で、周辺地山を平面ひずみ要素でモデル化した2次元FEMモデルを用いた応答震度法を行い、得られたトンネル覆工に発生する断面力に対して行った。



7. 水圧鉄管路・サージタンクの耐震性能照査

水圧鉄管路・サージタンクの耐震性能照査は、3章で示した耐震性能を満足するかを照査するうえで必要となる構造物として水圧鉄管路（露出部）で管胴・伸縮継手・支承・固定台・リングガーダを、サージタンクでは地上部と地下部を選定した。限界状態および照査基準は、各構造物の材料（鋼製、鉄筋コンクリート製）、機能等を考慮して設定し、耐震解析で得られた応力や変位量に対して耐震性能を照査した。

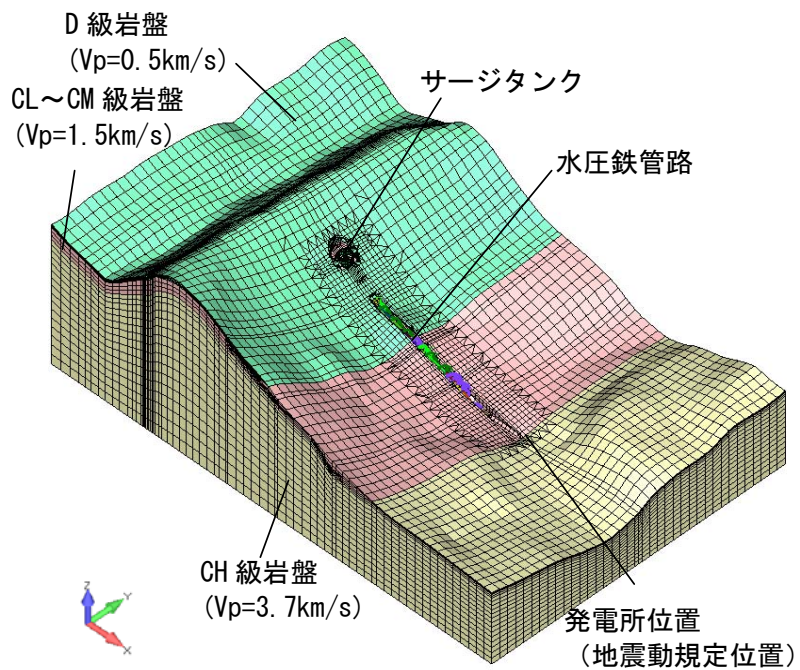
水圧鉄管路（露出部）のレベル2 地震動に対する限界状態と照査基準（要求性能1、2 共通）を以下のとおり設定した。

対象構造物	限界状態	照査基準
管胴部	・力学的特性が弾性域を超えない状態	発生応力度 $\leq$ 降伏強度
伸縮継手部	・継手が損傷しない状態	応答変位+温度変化による変位 $\leq$ 可能変位量
支承部	・力学的特性が弾性域を超えない状態	発生応力度 $\leq$ 降伏強度
固定台・ リングガーダ	・力学的に安定である状態	転倒、滑動しないこと 地盤反力度が許容支持力以内であること

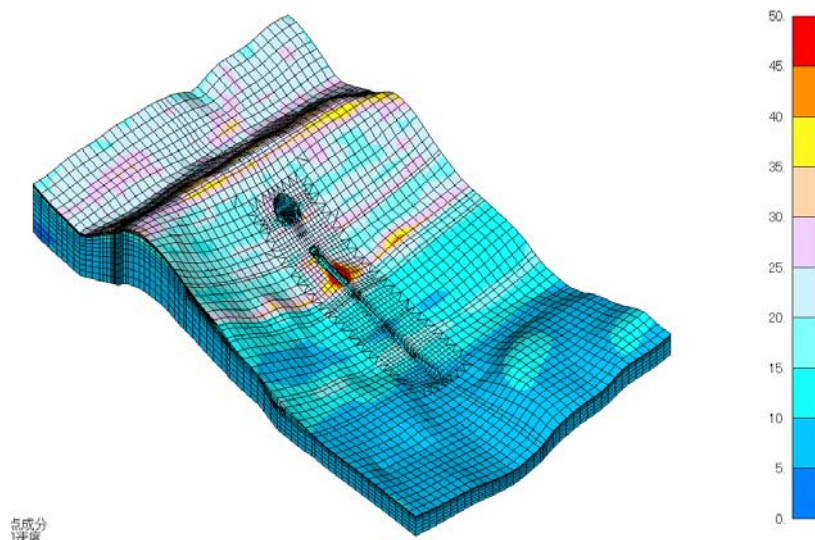
サージタンクのレベル2 地震動に対する限界状態と照査基準を以下のとおり設定した。

対象構造物	要求性能	限界状態	照査基準
サージタンク 地上部	要求性能1 要求性能2	・軽微なひび割れが生じるが、所定の期間内に修復可能な状態	発生曲げモーメント $\leq$ 許容曲げ耐力 発生せん断力 $\leq$ 許容せん断耐力
サージタンク 地下部	要求性能1	・大規模な漏水に至るような断層変位、地すべりなどが地下部に生じないこと	調圧水槽に影響を与える断層および地滑りの可能性があるか地山を評価
	要求性能2	・軽微なひび割れが生じるが、所定の期間内に修復可能な状態	発生曲げモーメント $\leq$ 許容曲げ耐力 発生せん断力 $\leq$ 許容せん断耐力

耐震性能照査は地山、サージタンク、水圧鉄管路をモデル化した3次元FEMモデルを用いた線形動的解析を行い、得られた応力、変位量、加速度に対して行った。



3次元FEM解析モデル



地山加速度分布図(管軸直角)

8. 放水口施設の耐震性能照査

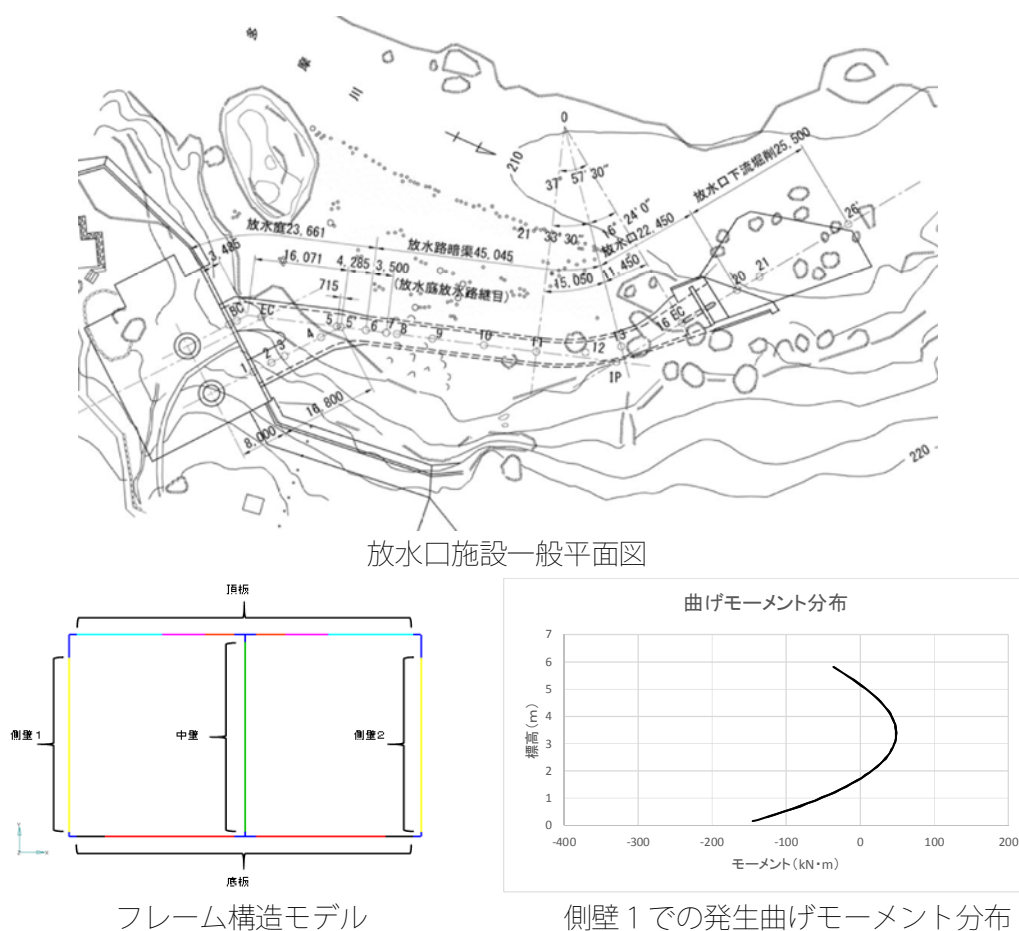
放水口施設の耐震性能照査は、3章で示した耐震性能を満足するかを照査するために、代表断面に対する検討を行った。代表断面は、構造が異なる箇所に対して3断面を選定した。

限界状態および照査基準は、部材の材料（鉄筋コンクリート製）、機能等を考慮して設定し、耐震解析で得られた断面力に対して耐震性能を照査した。

レベル 2 地震動に対する限界状態と照査基準（要求性能 1、2 共通）を以下のとおり設定した。

対象構造物	限界状態	照査基準
放水庭 放水路	・軽微なひび割れが生じるが、 所定の期間内に修復可能な 状態	発生曲げモーメント ≤ 許容曲げ耐力 発生せん断力 ≤ 許容せん断耐力

耐震性能照査は、部材をはり要素でモデル化した、フレーム構造モデルを用いた非線形静的解析により行った。



9. その他設備の耐震性能照査

その他設備の耐震性能照査は、操作盤・ケーブルルート・予備電源装置・建屋等に対して、現地調査、ヒアリングや既往資料（管理図、既往計算書、点検記録等）を参考に、固定状況やバックアップ機能等に着目した評価を行った。

前項までで検討した設備以外に、多摩川第三発電所の耐震性能を確保するうえで必要と考えられる施設を選定し、操作盤の安定性は構造計算により、その他の設備は図面・設計計算書・現地調査・ヒアリング等に基づき評価した。確認項目は、ケーブルの破断の危険性はないか、施設へのアクセス手段は複数あるか、予備電源装置の燃料は十分に確保されているか、設備周辺に転倒することで設備に損傷を与える恐れがあるものはないか、等である。その確認結果は、チェック表としてとりまとめ、必要な耐震性能が確保されているかを整理した。

10. 多摩川第三発電所のレベル2地震動に対する総合安全評価

本検討での多摩川第三発電所水路工作物の耐震性能照査結果と、平成 25 年度に実施している白丸調整池ダム本体およびダム関連構造物等の耐震性能照査結果を総合的に評価し、多摩川第三発電所を構成する全施設について「レベル2地震動に対する総合安全評価」を行った。

本業務における多摩川第三発電所水路工作物の耐震性能照査結果と、平成 25 年度実施の白丸調整池ダム本体およびダム関連構造物等の耐震性能照査結果を併せ、多摩川第三発電所を構成する全施設が要求される耐震性能を満足しているかを整理した。その結果、耐震性能を満足しないか耐震裕度が小さいと評価される施設があった場合には、耐震対策方法案および対策の優先度をとりまとめることとした。対策の優先度は、多摩川第三発電所の「要求性能 1（公衆災害の原因とならないための要求性能）」、「要求性能 2（発電機能に対する要求性能）」を満足するうえで重要度の高い施設であるかどうかを指標として評価することとした。