

円弧すべり解析による東北地方太平洋沖地震による藤沼アースフィルダムの沈下量評価

芝浦工業大学 工学部土木工学科 岡本敏郎
埼玉県庁(元芝浦工業大学大学院生) 小嶋孝輔

1. はじめに

藤沼ダム崩壊後の現地調査が多くされ、速報として数々報告されている。また、藤沼ダムに関しては耐震性検証委員会が設立され、現地調査・物性調査と解析的検討がされ、①過去に経験したことのない地震動であったこと、②締固め度が近代的な施工方法と比較すると小さいこと、③堤体上部盛土に砂分に富む材料が用いられ強かつ長時間の地震動を受けると強度低下を示すこと、が報告されている(図-1)。しかしながら、解析的検討は検証ケースも少ないので、崩壊に至る解析は条件などを変えてさらに解明される必要があると考える。本研究では、東日本大震災で藤沼ダム周辺で観測された地震波を用い、動的応答解析と残留変形解析を行う(図-2)。ここで、解析に必要な物性は十分ではないが、既往のデータを元に物性値を見直し、これまでほとんど言及されていなかった中部盛土の強度低下を考慮した渡邊・馬場法を用いた残留変形解析を行い、藤沼ダム決壊に至ったダムの天端沈下量の推定とそれに対応する強度について考察することを目的とする。

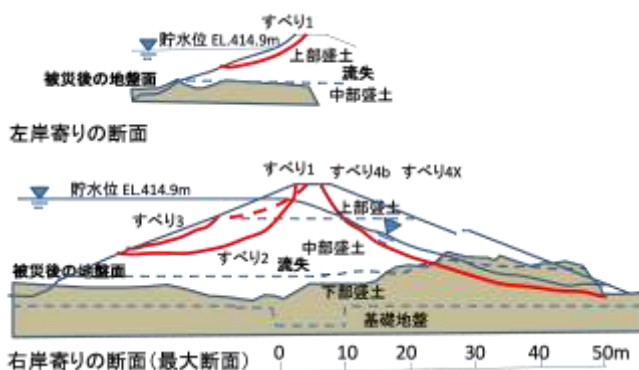


図-1 崩壊後の現地調査による代表的すべり面断面(藤沼ダム耐震性検証委員会を元に作成)

2. 渡邊・馬場法と採用強度

粘性土の地震時安定性検討に適用する全応力法では非排水強度を採用するが、非排水強度にはUUとCU条件の2つがある。UU条件は急速施工を模擬するので、フィルダムのような過剰間隙水圧の発生と消散を制御しつつ施工する場合は対象外である。粘性地盤が安定して長時間経過し圧密しており、さらに地震時安定性評価に供するときは、圧密非排水時の強度を使用しなければならない(図-3)。今回FLUSHによる全応力法を対象としているので、CU条件を使用したとき、円弧すべり安全率とすべり変位量の計算においては、静的自重解析における圧密有効応力値に対応して、すなわちそのときの圧密有効垂直応力により非排水強度が決定する。このため地震中の垂直応力の如何に関らず強度が圧密条件により決定される。この方法を渡邊・馬場CU法と名付け、本研究では、本方法を採用することとし、解析ソフトを修正した。

3. 引戻し計算と入力地震動

藤沼ダムの入力地震動を決定するため、藤沼ダムのごく近傍にある長沼観測点で観測された地震波形でNS成分を水平方向、UD成分を鉛直方向の加速度波形として使用した。ダムに入力する地震動と深さを決定するため、FLUSHにより引戻し計算を行うこととし、幅20m、深さ方向4m、8m、48m、108mの4種類のモデルを作成した。物

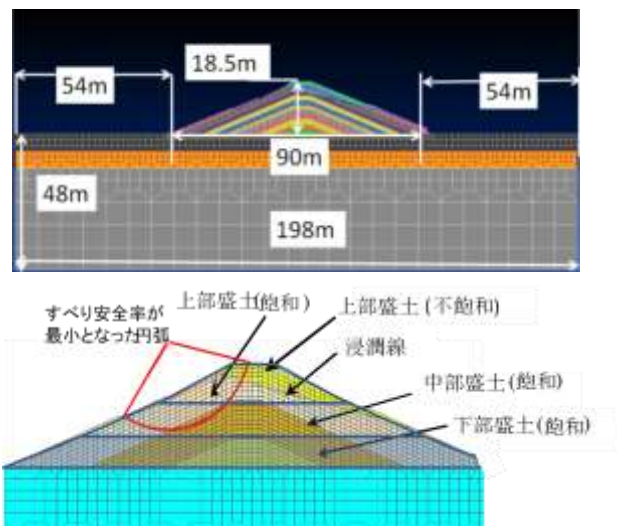


図-2 藤沼ダム解析用モデルと物性区分

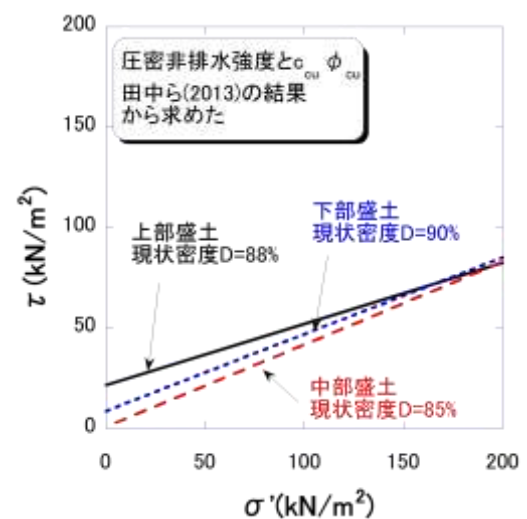


図-3 堤体材料の強度と c_{cu} , ϕ_{cu} (上部盛土・中部盛土・下部盛土に関し2)より導出)

キーワード 円弧すべり解析、東北地方太平洋沖地震、藤沼ダム、アースフィルダム

連絡先 〒135-0061 東京都江東区豊洲1丁目3-7-5 芝浦工業大学 Tel. 03-5859-8360

性は長沼観測点ボーリングデータの物性値を用い、変形特性と減衰特性のひずみ依存性は既往のデータの一般的なものを使用した。その結果、水平方向の最大加速度の深さ方向分布が48mの地点で収束したことから、ここを工学的基盤面とし、水平最大加速度は136gal となった(図-4)。

4. 解析結果

最小すべり安全率は0.91 となっている。円弧すべり面上土塊の鉛直沈下量は図-5 のようになり、この計算ではすべり

安全率が1を下回った時残留沈下量が発生するので、安全率が低い割には安全率が1を下回った時間は非常に短いため、円弧すべり面上土塊の重心の残留沈下量は0.55mm となり、天端沈下量でも1mm 程度であり、非常に小さく、崩壊の様子を再現できない。

上記のように崩壊の様子を表現できていないので、強度低下を考慮することにした。そこで、三軸非排水単調載荷強度に関し、圧密圧力全体に対し80%、60%、50%、47%に低下させ、解析を行った。図-6 は、サイン波による供試体の強度低下、及び中部盛土を通る強度低下とすべり安全率1.0を下回る回数をまとめたものである。強度低下を考慮した場合、三軸非排水単調載荷強度の5割程度の強度になると、図-5のように天端位置から満水位までの余裕高さである2.4mを大きく超える円弧上端の鉛直沈下が発生し、図-6のように5割程度の強度では繰返し回数100回程度になるという結果が得られた。このことから、上部盛土だけでなく中部盛土の地震による強度低下が、ダムの崩壊に大きく関与したのではないかと考えられる。

5. まとめ

表には田中らの結果と今回の結果を比較した結果を示した。FEM 解析は等価線形法で同じであるが、詳細は不明であり、また残留変形計算法はニューマーク法であり、本研究とは異なる。安全率算定の基礎となる強度評価が異なるものの、地震前の安全率が1.0以上であること、強度低下がないとすると地震時の安全率が1.0前後で残留変形がほとんど発生しないことは整合している。また強度低下を考慮した場合2m以上の沈下が発生しており、臨界すべりは異なるが、天端から満水位の間の余裕高さを越えて、越流に至る状況は両者共に説明できている。参 田中・龍岡・毛利 (2013) : ダム工学, vol.23, No.2, pp.99-114

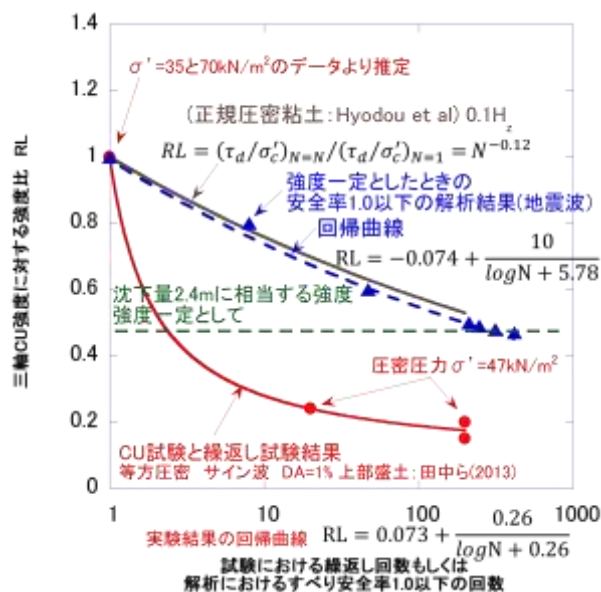


図-6 材料の繰返し強度低下と解析によるすべり安全率1以下の回数

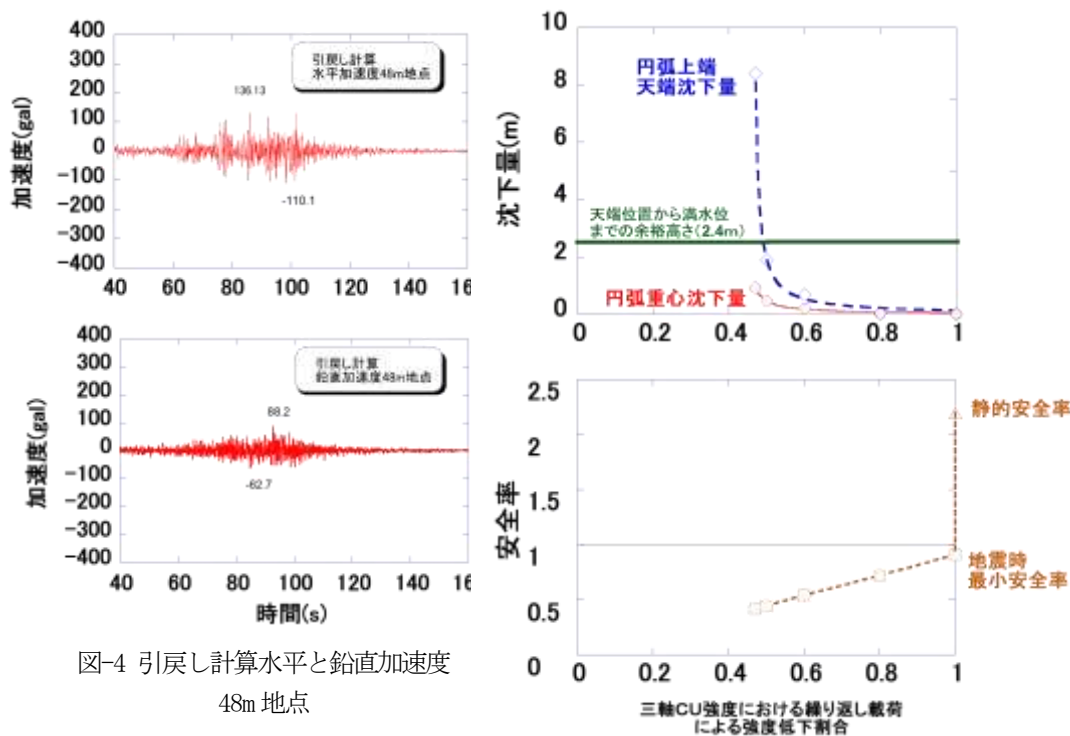


図-4 引戻し計算水平と鉛直加速度
48m 地点

図-5 強度低下割合と沈下量関係

表 残留変形解析による藤沼ダムの安全率と沈下量の比較

解析計算法	田中ら(2013)	本研究
強度	強度表示法	C ϕ 強度
設計	震度法	繰返しせん断応力比
設計	一設計震度0.15	F _{smn} =1.15
FEM	入力地震動	長沼波引戻し最大267gal
FEM	天端最大加速度	422gal
残留沈下計算法	ニューマーク法	渡邊・馬場法
破壊領域	上部盛土	上部盛土と中部盛土
強度低下なし	地震前安全率	—
強度低下なし	地震時安全率	等方圧密 F _{smn} >1.0 異方圧密 F _{smn} <1.0
強度低下なし	上記天端沈下量	0 0.15m
強度低下あり	繰返し強度低下	0.41m 2.26m
強度低下あり	強度一定	—
		0.037m (8割程度) 8.40m (47%程度)