

高知高専 正会員 岡林 宏二郎
高知高専 正会員 岡田 将治
高知高専 学生会員 ○野瀬 竜男

1. はじめに

2004 年 10 月 23 日に、中越地方を震源とする最大震度 7、マグニチュード 6.8 の中越地震が起きた。この地震により中越地方を流れる信濃川の河川堤防に大きな被害が出た。その原因の一つとして、土木学会新潟県中越地震被害調査報告資料¹⁾によれば中越地震発生前に台風 23 号が日本列島に上陸していた事が挙げられ、この台風により新潟県には多くの雨が降り、地震発生前二日前に信濃川の河川水位が危険水位に達していた。また、中越地震後には台風 24 号が発生し日本列島には上陸しなかったが、もし地震後に台風が来れば新潟県にはさらに被害が出ていたことが予想される。こうした地震と台風が同時期に発生する複合災害は過去に類をみない、非常に稀なケースである。また、国土交通省中部地方整備局では台風と地震が同時に起きた場合の複合災害訓練を実施する方針を取ることを決めており、世間の複合災害に対する関心が高まってきていると言える。そこで、本研究では動的 FEM 解析による信濃川河川堤防破壊の検証とし、新潟中越地震により破壊した信濃川河川堤防の動的 FEM 解析を行う。ここではほぼ同じ形状・地層の河川堤防が、液状化層の液状化に伴う側方流動によって破壊した地点と破壊しなかった地点との違いに着目している。2つの構造上の違いは、水際に設置されたコンクリート護岸と鋼矢板であり、これらの河川構造物が被害を軽減させる効果を持つのかを定量的に示す事を目的としている。

2. 解析方法

2.1 MDM 法による対象地盤の液状化判定

はじめに、対象地盤の液状化危険度を知るために調査資料内のボーリング調査結果を使用し MDM 法による非線形全応力地震応答解析を行った。MDM モデルとは、地盤材料の動的変形試験データの考察に基づき、繰り返し載荷中に最新の最大ひずみが生じた瞬間毎の原点近傍の微小ひずみ時間割線剛性を意味する瞬間変形係数 (Momentary Deformation Modules 略して MDM) という物理パラメタを定義する。そして、瞬間変形係数の最大ひずみレベルに関する変化を考慮した骨格曲線式に Masing 則を適用したモデルである。図-1 に調査報告資料にあったボーリング調査結果を示す。

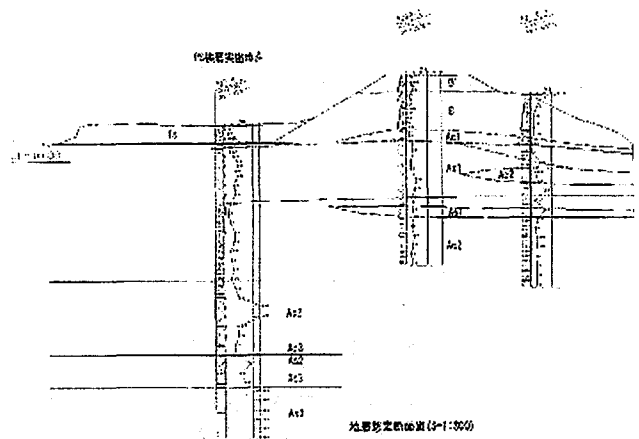


図-1 調査報告資料のボーリング調査結果
(左側より R20B-2 地点、R20B-1 地点、R20B-3 地点)

2.2 動的 FEM 解析

解析には有限要素法 (Finite Element Method、略して FEM) を使い、実際の地震波を与える動的 FEM 解析により、堤防の解析結果を実際の堤防被害と比較する。堤防の資料は、土木学会新潟県中越地震災害調査団 ((河川構造物被害) の報告書参考)²⁾を参考に中越地方の信濃川河川堤防右岸 2.0km 付近の資料を参考にし、3 つのケースを考えた。

図-2 に解析メッシュのケース 1 を示す。また調査報告資料より堤体部の大きさを決め、幅 50.75m、高さ 7m とした。基礎地盤部は下端震度 24.5m で、沖積第一砂質土層、沖積第二粘性土層、沖積第二砂質土層、沖積第三粘性土層からなる 4 層で構成するものとした。

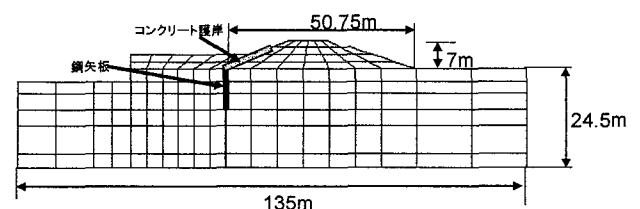


図-2 解析メッシュ(ケース 1)

2.3 地震波と境界条件

解析に使用した地震波は防災科学研究所基盤地震観測網(kik-net)データ²⁾より、2004年10月23日に長岡観測所で観測された地震波のうち、17時56分に観測された本震と18時01分に観測された余震を使い、それらを一つの地震波として解析に使用した。最大加速度は約300Galで、方向はEW方向のものを使用した。図-3に解析に用いた地震波を示す。

2.4 材料定数

解析を行う際、土質の性質を決めるのに最も重要なのが材料定数である。材料定数は3つのパターンを設定した。以下の通りである。①調査団の報告資料のボーリング調査結果をそのまま用いた。②調査資料のボーリング調査結果より、N値と計算式を用いて基盤部のみの材料定数を算出した。提体部は一般的な盛土に使われる土質の材料定数を用いた。③②で用いた計算式と同じものより提体部の材料定数をN値より算出した。基盤部は②で計算式より算出したものと同じものを用いた。表-1に③の材料定数を示す。

3. MDM解析結果および動的FEM解析結果

ボーリング調査が行われた3地点についてMDM解析を行った。ここではR20B-2地点の解析結果を図-4に示す。左の図では地層の構成と下端深度を、右のグラフでは液状化に対するFL値を横軸に、縦軸には下端深度を示している。グラフを見ると、所々にFL値が高い値を示しているがほとんどの箇所でも1以下を示しており液状化の危険度が高いことが分かる。またFL値よりPL値を求めた結果、10を示しPL値から見ても液状化危険度が高いことが分かった。その他2地点も同様な結果が得られ、解析対象とした堤防断面はもともと液状化が起こりやすい地点だと分かった。

図-5は表-1の材料定数を用いたケース1の残留変形の解析結果を示す。図-5の残留変形図を見ると、高水敷部に大きな変形が見られるがそれ以外の箇所には大きな変形は見られず、わずかに提体内で沈下が起きているだけである。構造的に見ると、ケース1は高水敷部左側に押さえ盛土の役目を果たすものがないため大きな変形が起き、提体部では高水敷部が押さえ盛土の役割を果たしたので大きな変形が起きなかったのではないかと考えられる。

4. まとめ

実際の被害では砂質土層が地震動により液状化を起し、それに伴って高水敷部で側方流動が起き、また提体部ですべり破壊が起きていたが解析結果からはそのような結果は得られなかった。また、実際の被害ではコンクリート護岸と鋼矢板があるにも関わらず破壊を起こしていたが、本研究ではコンクリート護岸と鋼矢板を考慮していないので、今後更に解析を進めていく上で条件を実際の堤防断面と同様にし、結果を実際の被害と比較することが重要である。また、資料にあった河川構造物以外のものでも破壊を防ぐことができるのかを検証し、今後起こり得る地震に適用させる。

参考文献:

- 1)土木学会:土木学会新潟県中越地震被害調査報告書第7章
- 2) 防災科学研究所;地震の中の基盤地震観測網(kik-net)データの新潟県中越地震のデータ

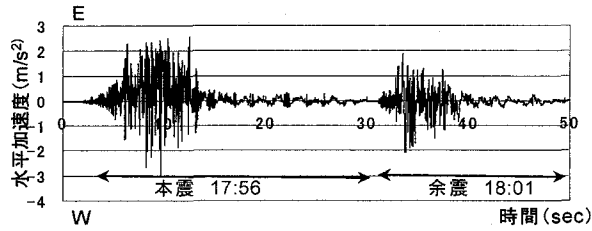


図-3 解析に用いた地震波

表-1 基礎部・提体部に計算式を用いた材料定数表

	E (kPa)	ν	σ_c (kPa)	ϕ (°)	ψ (°)	Γ_v (kN/m³)
提体部	4800	0.3	1.5	22.4	0	16
高水敷部	14000	0.359	11.2	24.4	0	15
沖積第一砂質土層	16800	0.35	9.2	24.7	0	16.66
沖積第二粘性土層	14000	0.45	33.0	24.4	0	15.68
沖積第三砂質土層	42000	0.35	14.8	26.6	0	15.88
沖積第三粘性土層	39200	0.45	5.4	26.5	0	15.48
コンクリート護岸	2.35E7	0.20	1.0E20	0	0	24
鋼矢板	2.06E8	0.30	1.0E20	0	0	77

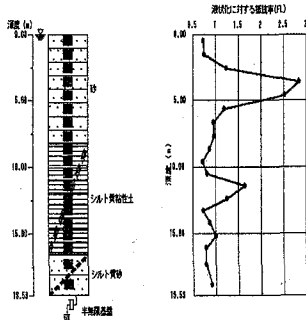


図-4 MDM解析結果

(R20B-2 地点)

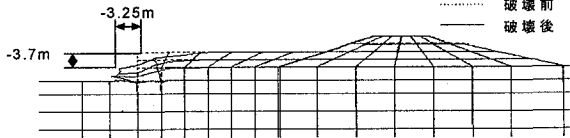


図-5 動的FEM解析結果(残留変形図)