

中越地震による長岡高専 3 号館の被災原因の検討

長岡高専 学生会員 ○桑原 和幸
長岡高専 正会員 尾上 篤生

1. はじめに

2004 年の中越地震(10 月 23 日、M6.8)により長岡高専は校舎・寄宿舍・食堂棟など 5 棟が建替えを要するという甚大な被害を受けた。特に校舎 3 号館は、旧地山を切り盛りして造成した複雑な地盤に立地し、地盤の変状とともに校舎が打ち継目のところで切断するという大きな被害を蒙った。本研究では 3 号館の被害メカニズムを明らかにするために、まず立地地盤の地震時挙動を地震時応答解析によって検討した。

2. 校舎 3 号館の被害状況

3 号館は、深く入り組んだ旧沢地を含む斜面を、旧地山の切土を用いて埋立てた盛土の上に立地していた。図-1 は、地震後の 3 号館の西側半分を示しているが、南西の角が南側に 77cm 変位し、校舎躯体の接続部分の北側が切断し、26cm 離隔した。さらに南西隅角部の b 点で地盤が 47cm、c 点で 59cm 沈下するとともに、地表面は校舎から 18cm 移動して校舎との間に V 字型のギャップが出来た。また、隅角部のフーチングを支える 3 本杭は杭頭が折損し、地盤と共に変位していた。このことから、地震によって西側部分の地盤が南側にすべり、杭を連行して建物を反時計回りに回転して、校舎の切断が生じたと想定される。

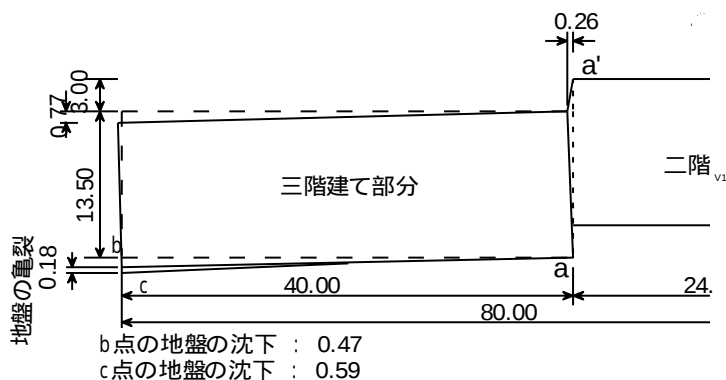


図-1 地盤変動図

2. 地盤の地震時動的応答解析

動的解析は、解析コード S A P 2000n を用いて弾性応答解析を行った。図 - 2 は、高専の敷地を造成する前の

3 号館付近の地山のコンターである。解析領域は、同図に示した 3 号館を含む図中のメッシュの範囲で、3 号館南西角を原点とする領域である。地盤のモデルは、地表面から盛土(地下水位以上)、盛土(地下水位以下)、旧表土、御山層(地下水位以上)、御山層(地下水位以下)、魚沼層(地下水位以上)、魚沼層(地下水位以下)の 7 層から成り、標高 45m から標高 68.1m の標高差 23.1m、185m × 165m の領域を 3 次元で作成した。3 号館のうち、変位した部分は、標高 65m の盤である。図 - 3 に、モデルの鳥瞰図を示した。用いた地震波は kik-net 雪氷研究所基盤盤 EW、NS、UD である。加速度計の北方向とモデルの Y 軸とのなす角 33.6 度を考慮して補正し、図-4 に示す入力地震波形をモデル地盤の下端に入力した。減衰比はすべてのモードに対して 0.1 とした。境界条件は基盤を完全固定とした。各層の地盤物性値を表-1 に示す。ここに旧表土は有機質粘性土で、N 値は 0 と軟弱である。

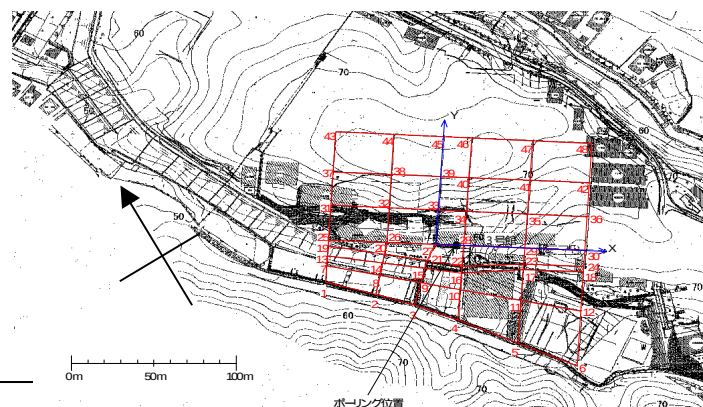


図-2 解析モデル作成場所

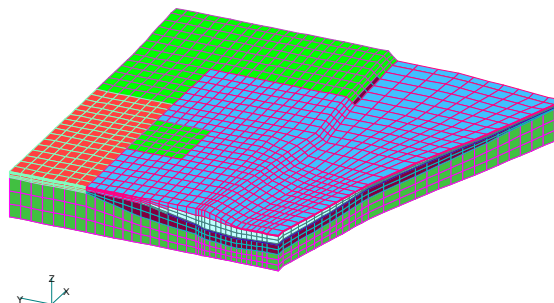


図-3 モデル全体図

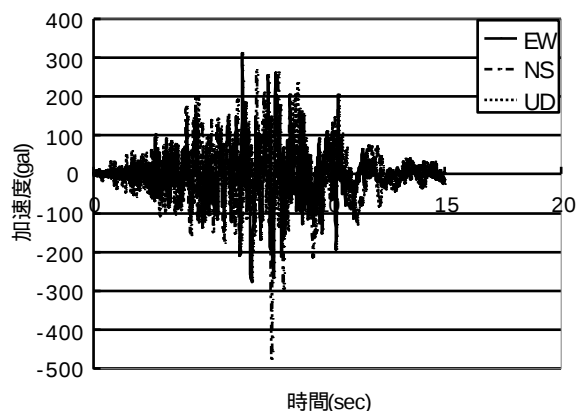


図-4 入力地震波

表-1 層序と地盤物性値

	γ (KN/m ³)	E (KN/m ²)	ν
盛土	16.17	43894	0.33
盛土 (地下水以下)	16.17	83114	0.49
旧表土	13.72	15023	0.49
御山層	16.66	101744	0.33
御山層 (地下水以下)	16.66	113984	0.49
魚沼層	17.64	430916	0.33
魚沼層 (地下水以下)	17.64	482758	0.49

v1

3. 解析結果

3-1 旧地山南向き斜面(Y軸負の方向)

モデル全体の要素のうち、旧地山表面の深さにおける要素の平面図を図-5に示す。座標原点から、Y軸の負の方向に敷地境界まで達する旧地山南向き斜面に取った図中1～17までの連続する要素について、旧表土各要素の下面の勾配と平行な向きのせん断応力 τ_0 と、粘着力を比較した。ここに粘着力は $C_u = 0.33 \sigma'_{z0}$ で求まる非排水強度、 σ'_{z0} は有効土被り圧力である。図-6で、常時と地震時のせん断応力と粘着力を比較した。横軸は、図-5に示した要素の番号である。同図によると、旧地山の勾配が大きい要素3でせん断応力は72kN/m²と大きく、粘着力30kN/m²の2.4倍に達する。谷部分にあたる要素17では、粘着力と同程度の値に留まっている。各要素のせん断応力と粘着力に、それぞれ要素の幅1mあたりの面積を掛け、旧地山南向き斜面全長に亘って加えた幅1mあたりのドライブ力と抵抗力を求めた。ドライブ力は2.7MN、抵抗力は1.3MNであり、ドライブ力は抵抗力の2.1倍に達することから、旧表土で地すべりが発生したと考えられる。図中には、常時の自重のみによるせん断応力も示したが、全ての要素で粘着力がせん断応力を大きく、ドライブ力は484kN、安全率は2.8であり、当然安定している。

3-2 旧地山西向き斜面

図-5に示す3号館南側は、旧地山が東から西に下る斜面を成している。図中に示した要素1～6の旧地山西向き斜面について、図-7でせん断応力と粘着力を比較する。すべての要素で地震時のせん断応力は粘着力を上回っている。この斜面のドライブ力は2.3MN、抵抗力は866kNであり、地震時の安全率は0.374である。

西側斜面の自重解析結果も図-7に併記したが、全ての要素で粘着力がせん断応力を大きく上回っている。この斜面のドライブ力は63kN、抵抗力は866kNであり、常時の安全率は約14である。

4. まとめ

長岡高専3号館立地地盤の地震時挙動を三次元動的弾性応答解析で調べた結果、校舎の南西付近で有機質粘性土から成る旧表土に沿って、南西向きの地すべりが生じたと考えられる。校舎が反時計回りに変位し、打ち継目で破断したのは、このような地盤の地すべりによるものであることが分かった。

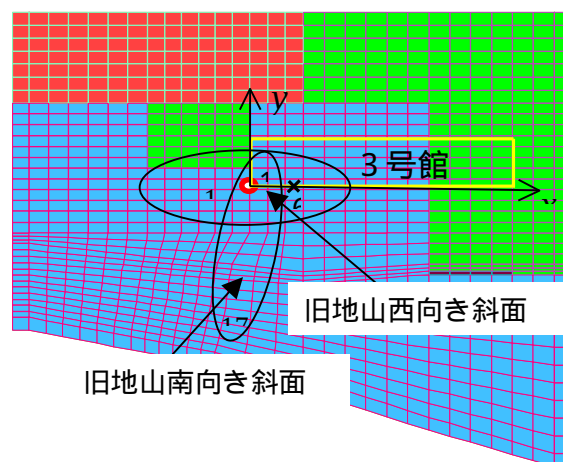


図-5 解析要素番号配置場所

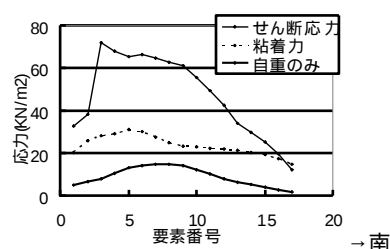


図-6 南北方向のせん断応力と粘着力

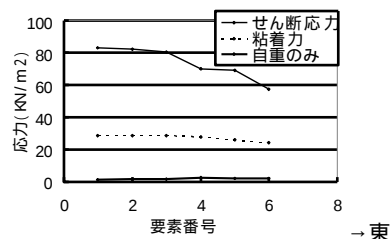


図-7 東西方向のせん断応力と粘着力