# 地震動への地形と土質の影響の考察

前･前橋工科大学　ﾌｪﾛｰ会員　那須　誠

## 1. はじめに

地震被害は地盤の不連続点で多く発生していることが調べられている[1)]。今回，地震被害への地盤の影響をまとめ，最近の地震で発生した色々な特異現象を地盤の不連続点に着目して考察した結果を報告する。

## 2. 地震被害発生要因

各種構造物の地震被害は一様地盤ではなく地盤の不連続点で，上部工は剛性変化点で発生することが多い(水平方向の一様地盤でしっかりした基礎からできた人工的な不連続地盤も含む)。地盤不連続点等では地震時の変位変化(不同変位)が大きく，その変位勾配(微分値)の歪も大きく集中する[1)]。この歪には**図 1** に示すようにせん断歪と垂直歪があり，例えば地盤不連続点ではせん断歪は不同沈下量と水平距離の比で，垂直歪は水平方向の変位差と水平距離の比で求められる。従って，地震時にせん断歪が関係する地盤の不同沈下で強制的に構造物がせん断変形させられて被害発生することが考えられる。あるいは垂直歪が関係する水平方向の地盤変位差で発生する，大きく急激な偏土圧(特に圧縮側の受働土圧)が構造物基礎等に作用して構造物が損傷したり，反作用として上部工等の剛性変化点に大きい歪や応力が発生したりして構造物が被害を受けること等が考えられる。さらに後者の場合には水平方向の地盤変位差によって橋脚間の拡大や短縮被害等が発生することも考えられる[1)]。

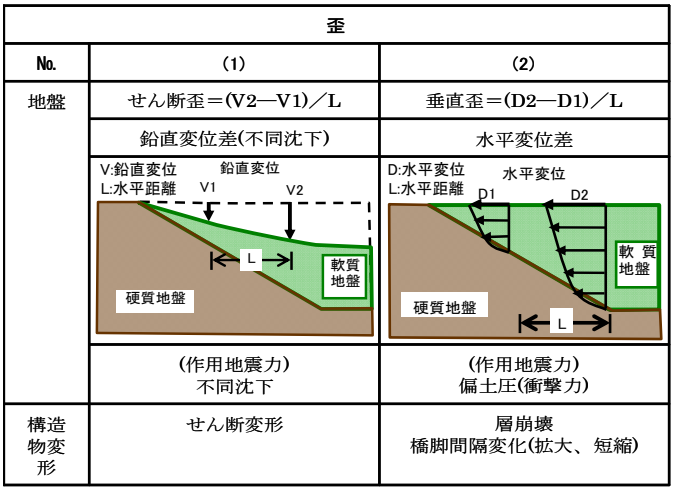



**図 1**　構造物に地震被害が発生しやすい地盤の不連続点と構造物被害(変形)の関係

## 3. 最近の地震で生じた色々な現象と地盤の関係の考察

(1)2008 年岩手･宮城内陸地震で栗原市の法蔵寺参道脇の墓石が足下をすくわれるような形で頭部を台座の方に向けて転倒したことが観察された(**図 2**)[2),3)]。重力観測で法蔵寺周辺は凹状基盤の深度急変化点に位置し，墓石転倒方向が略この傾斜面の法線方向の地表投影方向であることが調べられた[2)]。寺は山麓の沢地形の奥まった北側位置に建ち南側で被害を受けた墓石は山麓沿いに走る道路近くにあり，道路の南側は田圃である。

**図2**　地震による法蔵寺の墓石の転倒状態[2)]

(3)仙台市内の谷埋盛土と切土からなる宅地造成地での地震観測結果から**図3**の計測震度分布が求められた[4)]。この図によると計測震度の急変部が地盤の不連続点の谷埋盛土厚さの急変部(切盛境界部)に当たる。

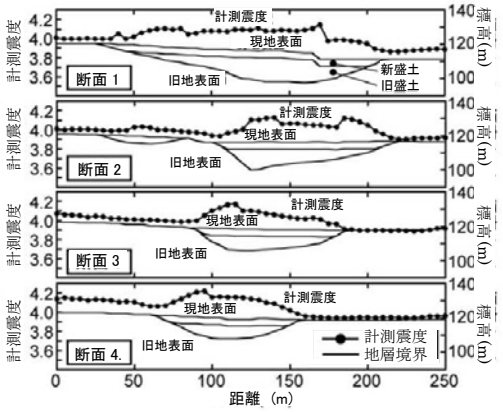



**図3**　宅地造成地盤での計測震度分布図[4)]

(4)鎌倉高徳院の大仏周辺地盤の常時微動測定結果から，微動は南北成分が卓越し，この方向は1923年関東地震で大仏が南15度東方向に約30cm 前進し，のめり込むように約50cm 沈下したことと符合することが明らかにされている[5)]。なお，この大仏は三方が小さい山に囲まれた谷地形内(谷筋方向は南方向)にあり，谷地形の谷筋方向に地盤が振動しやすいことが分かる。

(5)2008 年岩手･宮城内陸地震時の大加速度は水平動成分に比べ上下動成分が 2 倍以上大きく，上向き成分が下向きと比べて 2.5 倍以上大きいという非対称性が認められ，ﾄﾗﾝﾎﾟﾘﾝ効果が生じたと考えられている[6)]。

(6)2008年汶川地震(Mw7.9)は長さ約500kmの龍門山断層帯で発生し，広範囲に甚大な被害が発生した。その地震に伴う大きな地表断層がいくつか確認されるとともに，例えば学校建物等に大きい被害が発生したが[7)]，そ

ｷｰﾜｰﾄﾞ： 地震被害, 地震時特異現象, 地盤不連続点, 地形, 土質
連絡先:〒359-0021　埼玉県所沢市東所沢 2-34-8

れらの断層も地盤の一種の不連続点で発生している。

(8)2004年新潟県中越地震の際に旧堀之内町の魚野川右岸，関越道南にある新道島霊園で参道沿いの玉石群(直径数10cm，重さ200～300kg)がｼﾞｬﾝﾌﾟして北西方向に裏返しに跳んだ(**図4(a)**)[8]。墓石の大部分も北西方向に数10cm飛散･散乱し，霊園横の畑では大根が一斉に北西方向に約30cm跳んで整然と並んで横たわる(**図4(b)**)[8]。

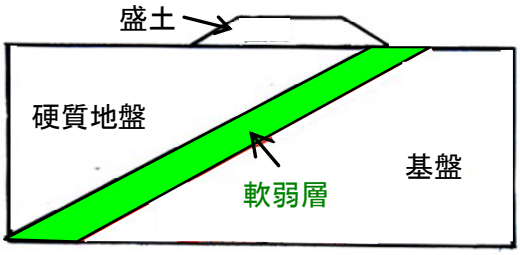
ここの飛び石が参道脇で発生したことは法蔵寺の墓石が参道脇で転倒したことと似ており，しかも地震(例えば1995年兵庫県南部地震)で道路脇の建物が道路側に転倒傾斜するのと似ているが，道路という比較的硬質な物体と脇の比較的軟質な地盤の境界部で発生することが共通である。従って，飛び石は，(7)に示すように地盤の不連続点に発生する地盤の圧縮(垂直歪による)に伴う偏土圧によって発生したことが考えられる。(7)**図5**[9]は地盤の不連続点(境界部)の地震応答解析結果の1例を示しており，地震時には図の左側の軟弱層側地盤が右側の基盤側地盤と比べて比較的大きく境界の傾斜方向に変位し，斜め右上方に動くときは地表面の境界部で地盤に圧縮(あるいは斜め左下方に動くときはその境界部に引っ張り)が生じることが分かる。

このような地盤不連続点の地震時挙動等から，法蔵寺の墓石の地震時の転倒に地盤変位が大きく影響したことと，飛び石の発生に地盤の圧縮が大きく影響したこと等が考えられる。特に，地盤の不連続点の軟質地盤側に建っていた墓石台石が軟質地盤側(図の左側)から大きい力で押されて反作用で頭部が軟質地盤側(図の左側)に傾斜・転倒し，次に軟質地盤の反対側の動きが発生して台座が軟質地盤側(図の左側)に急激に動いたため，墓石が取り残された状態になったことが推察される。

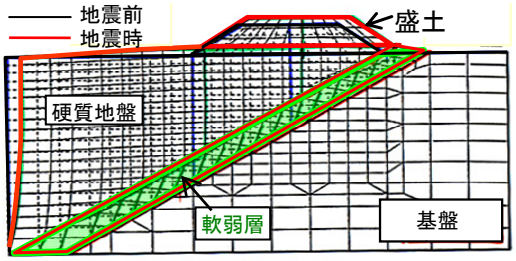
(a)新道島霊園入り口の飛び石

(b)北西方向に抜け跳んだ大根群

**図 4**　地震で跳んだ石と大根[8]




(a)解析モデル(モデル-3)




(b)地震応答解析結果(モデル-3)

**図 5**　地盤の不連続点の地震時挙動解析[9]

## 4. おわりに

以上に述べたように，各種の地震時挙動には地盤の影響，特に地盤の不連続点の影響が大きいことが推察される。なお，今回の調査でお世話になった谷川正真東工大大学院生，盛川仁同大准教授の他に、参考にさせて頂いた文献の著者に厚く御礼を申し上げます.

## 参考文献

1) 例えば，那須誠：東北地方における地震被害と地盤の関係，平成 21 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，Ⅰ - 18，2010. 3. 6.
2) 谷川正真，盛川仁，松尾寛子，小林泰陽：2008 年岩手・宮城内陸地震の被災地域における深部基盤構造の推定，第 13 回日本地震工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ(2010)，PS2-Fri-6，2010. 11.
3) H. Morikawa, M. Tanigawa et al.：Preliminary Analysis for Ground Structure around Damaged Area, by 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake, Joint Conference Proceedings of 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) & 5th International Conference on Earthquake Engineering (5ICEE), March 2010, Tokyo Institute of Technology.
4) 森友宏，松下克也，佐藤真吾，渦岡良介，風間基樹：造成地の盛土厚および旧地形形状が地震応答に及ぼす影響，第 13 回日本地震工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ(2010)，G02-Thu-PM-11，2010. 11.
5) 中村豊，齋田淳，立花三裕，森井順之，井上修作，大町達夫：鎌倉大仏およびその周辺地盤の常時微動調査，第 13 回日本地震工学ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ(2010)，G02-Thu-PM-6，2010. 11.
6) 青井真：岩手・宮城内陸地震で観測された大加速度記録―ﾄﾗﾝﾎﾟﾘﾝ現象の発見，防災科研ﾆｭｰｽ，2009年秋号，No. 169.
7) 中国汶川大地震の震源断層，長大断層の破壊と地殻変動の事例，郝憲生，防災科研ﾆｭｰｽ，2009年秋号，No. 169.
8) 仁杉巌監修，久保村圭助，町田富士夫編著：巨大地震と高速鉄道-新潟県中越地震を振り返って，pp. 68-71，山海堂，2006. 11.
9) 那須誠，田村重四郎：盛土の地震応答と地盤盤の関係(その9)-上下逆転型地盤内の極軟弱粘性土層の影響-，土木学会第 48 回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-PS5，pp. 10-11，1993. 9.