

神戸市安全協力会会員対象研修会
2013年11月6日(水) 14時~15時30分、於勤労会館

神戸の地盤防災を考える

NPO法人都市災害に備える技術者の会
理事 太田英将
(有限会社太田ジオサーチ)

1

NPO法人都市災害に備える技術者の会 のご紹介

- 2004年4月 内閣府認証NPOとして発足
初代理事長 笹山元神戸市長
- 二代理事長 室崎益輝先生
- 三代理事長 伊藤東洋雄(現在気仙沼市)
- 会員数 正会員48名 賛助会員2団体
- 技術士等の技術者を主体とする

(1)防災出前授業、講師派遣等
(2)技術研修会
(3)行政等に協力:2006年宅地造成等規制法改正に協力
(4)防災直後対応ではなく、平常時の事前対策の啓発を主として行う

詳しくは<http://www.toshisaigai.net> に掲載しています

2

内 容

- 神戸の地盤の成り立ち
- 六甲山地の地盤防災
- 丘陵地の地盤防災
- 低地・埋立地の地盤防災

3

1. 神戸の地盤の成り立ち

- 六甲山は火山?死火山?
火山岩(溶岩)があるかどうか

②有馬層群(溶結凝灰岩:超大規模火砕流)
白亜紀火山灰(1億年前)、火山岩的な堆積岩

①丹波帯(頁岩)・ルーペンダント
中生代ジュラ紀付加体
(2億年前)堆積岩

③六甲花崗岩(御影石)、花崗閃緑岩
白亜紀深成岩(1億年前)、地下深部でゆっくり固まったマグマ

④神戸層群(レキ岩・砂岩・泥岩・凝灰岩)
古第三紀(5000万年前)堆積岩

⑤大阪層群(レキ岩・砂岩・泥岩)
第四期(200万年)堆積岩

⑥段丘層(レキ・砂) 洪積層
ごく最近(10~3万年)の堆積物

⑦白抜きの場合、沖積層
扇状地・沖積低地
1万年~現代の堆積物

4

火成岩

細粒・緻密

分類	塩基性岩	中性岩	酸性岩
火山岩 (溶岩)	玄武岩 (玄武洞の石) 玄武→亀の形→柱状節理	安山岩 (アヂノ山脈の石)	流紋岩 (流れ模様の入った石)
深成岩	斑れい岩 (黒い斑点のある石)	閃緑岩 (角閃石を含み緑がかった石)	花崗岩 (花のように綺麗で剛な石)

粗粒・結晶質 ← 黒っぽい(SiO₂少ない) 白っぽい(SiO₂多い)

玄武岩の柱状節理

花崗岩の風化(ゴゴロ石)

花崗岩

火成岩の性質—良透水性地盤 (土木系の方がよく間違える)

- 岩質は硬いが、液体状のマグマが冷えて固まったものなので、体積収縮を起こし開口節理面が発達する(柱状節理もその一つ)。
- このため火成岩は「**良透水性地盤**」である。
- 堆積岩は密着性節理面となるので「**難透水性地盤**」になることが多い。
- 例外的なものが、溶結凝灰岩。これは堆積後に一度溶融してから固結するため火山岩と同じ性質を持つ。

花崗岩のコアストーン

溶結凝灰岩(堆積岩)の柱状節理

6

六甲山の隆起

六甲山の隆起(陸化)は100万年以上前から始まっていたようですが、50万年前くらいから隆起速度が激しくなりました。

1000m隆起するのに50万年かかったとすると・・・
 $1,000,000\text{mm} \div 500,000\text{年} = 2\text{mm/年}$
 で、現在も隆起を続けています。実際には地震(断層活動)で時々まとめて隆起します。1回に20cm隆起するならば、100年に一度、2m隆起するならば1000年に一度の地震がある、と計算します。

花崗岩の分布

六甲花崗岩や箱根花崗岩、庄島花崗岩など非常に大きな花崗岩体が西南日本には分布しています。これらは、かつて海溝が沈み込んだ際に大陸地殻を溶かしてできたと言われています。その当時は凄い火山活動だったでしょう。・・・1億年前は火山だった(すでにその形跡はなくなっていますが)また、その当時は日本海が開いておらず、日本はアジア大陸の一部でした。

六甲山周辺は横ずれ断層が多い

太平洋プレートの圧縮
 フィリピン海プレートの影響もその外側にある太平洋プレートの影響を強く受けている。

断層の原動力はプレート運動

アジア経済開発機構作成、『プレートテクトニクス』(新装復刊)に提供

横ずれ断層が造る地形

山崎断層系・安室断層による河谷と尾根の歪み地形。赤矢印の断層によって尾根と谷(流域)が歪みずれている。中国自動車道は、ここにはまさに安室断層系を走っている。(撮影:岡田真正)

高速道路の多くが断層をトレースして走っている(中国自動車道山崎付近、阪神高速北神戸線など数多い。凹地状地形が土工バランスに都合が良いからと思われる。)

断層沿いは侵食が激しい

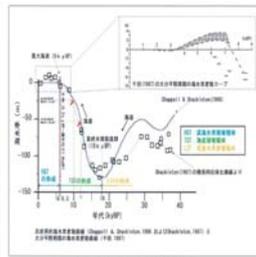
山が隆起して起きることは3つだけ



- 侵食作用・・・崩壊・崖崩れ・地すべり・河岸侵食など
- 運搬作用・・・土石流・出水
- 堆積作用・・・扇状地形成・天井川(人為)・沖積平野
- 目的地は・・・海(侵食基準面)

13

海水準の変動 (平地の形成に大きく関与)



- 今の海水面の高さは稀に見るほど高い(昨今の地球温暖化議論とは関係ない) 平均海面上昇速度
- 18000年前 -130m 1.2cm/年
- 10000年前 -31m 0.6cm/年
- 8000年前 -20m
- 6000年前 +3m 1.2cm/年
- (縄文海進)

神戸空港の水深は16m、関西国際空港の水深は約20mなので8000年前なら陸上だった。

14

海水準の変動と沖積層形成

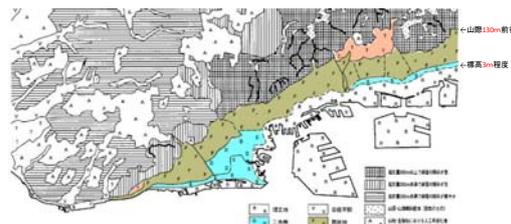


図1. 本地域の地形概況 (本図集の図の範囲について表示)

- 18000年前(-130m)は、山地との境界が、今の海岸線位置(標高0m)にあったことになる。扇状地は今の海の中に広がっていた。
- 6000年前(+3m)(縄文海進)に海岸沿いに堆積させた土が三角洲・砂州として沖積層を形成している。
- **いま人が住み、人が働いている場所は、18000年以降(最終氷期以降)に急速に海面上昇して形成された即席の土地である(埋立地はここ数10年が大半)。つな都合が起さないはずはない**

15

生き物にとって土砂災害は不可避



生物の化石がバラバラに出土することが多い理由

↓

土砂災害の被災者(生物)だから



遺跡が発掘される理由

↓

土が被っているから

16

2. 六甲山地の地盤防災

山地から住宅地に土砂が出るのを防ぐ

- (自然現象)隆起山地の侵食作用
隆起量が大きいと侵食量も大きい
断層破砕帯は岩盤が脆弱化し崩壊しやすい
- (人為現象)禿山の土砂流出
里山としての利用により禿山化が進んでいた
平地の河川では河床が上がるため、河道維持の為に「天井川」化が進んだ



明治初期: 禿山の六甲山

17

昭和13年阪神大水害



これ以外にも、昭和36年水害、昭和42年水害もある

18

ずっと前から起きていた
自然現象(侵食・運搬・堆積)が起きた

そこに人の生活があったから「災害」になった

六甲山の砂防対策は十分か？

- 昭和13年は462ミリ(死者行方不明695名)
- 江戸時代以降30~50年周期で53回の大きな土砂災害(禿山も影響)
- 砂防ダム524基(進捗率57%;計画920基)

六甲山系グリーンベルト整備事業

- 整備の目標
- 土砂災害の防止
- 良好な都市環境、風致景観、生態系および種の多様性の保全・育成
- 都市のスプロール化防止
- 健全なレクリエーションの場の提供

事前の危険把握

3. 丘陵地の地盤防災
人の生活圏に内在する土砂災害→自己責任・予防が重要

- (地震時)谷埋め盛土の滑动崩落現象
- (豪雨時)崖地の表層崩壊現象
- (豪雨時・地震時)擁壁の転倒現象

仁川百合野町1995.1.17 谷埋め盛土の地震時滑动崩落現象



覚悟していなかった災害

大地震時の盛土宅地の地すべりとはどういふものか？
盛土部だけが滑る現象

26

盛土宅地の地すべり変動の特徴

- 造成地のうち盛土の部分だけが地すべりを起こす
→切土部では発生しない
- 震度6弱以上で発生しはじめる
→震度5弱では起きない。5強ではほんの少し起きる
- 基礎が壊れるので家は壊れる

27

これまで発生した谷埋め盛土の滑動崩落

- 1978年宮城県沖地震 **大規模谷埋め盛土崩落発生**
- 1995年兵庫県南部地震 **本格的な研究開始** **谷埋め盛土多数変動**
- 2001年芸予地震 **浜市などで斜面住宅の盛土変動**
- 2003年三陸南地震・宮城県北部地震 **谷埋め造成地変動**
- 2004年新潟県中越地震 **マスコミ報道** **宅地盛土変動**
- 2006年宅造法改正 **宅地耐震化**
- 2005年福岡県西方沖地震 **玄海島などで斜面住宅の盛土変動**
- 2007年能登半島地震 **能登有料道路の沢埋め盛土変動**
- 2008年岩手・宮城内陸地震 **築館地区の谷埋め盛土崩落(2011年の発生も)**
- 2008年四川大地震 **不明**

そして、2011年東北地方太平洋沖地震

造成宅地滑動崩落緊急対策事業

28



いまわかっていること(水圧で壊れる)
 そのとき地面の下では何が起きていたのか？

宅地の滑動崩落現象とは

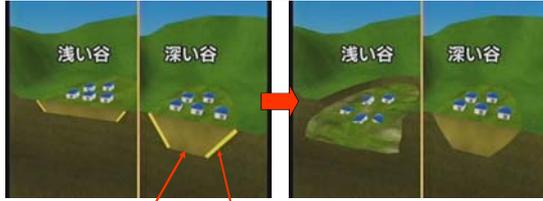


- (いわゆる)液状化、地表面には噴砂
- 地下水が無ければ起きない…正しくは「地下水に高い水圧が発生しなければ起きない」

31

形によって滑り易さが違う

浅くて広い谷は滑り易い、深くて狭い谷は滑りにくい
 事前予測可能！

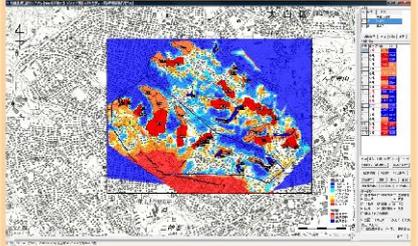


すべり面液状化 側方摩擦

32

予測可能な事例
 谷埋め盛土の地震時評価事例

2010年春に仙台市の谷埋め盛土で「たまたま」事前予測していた。
 そして東日本大震災で発生した現象と良く整合していた

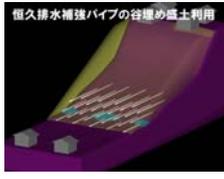


詳しくは、下記報告書を参照
 (国土交通省総合プロジェクト) http://gensai.gsi.go.jp/committee/gensai_report.pdf
 高精度調査技術による被災地評価した国土の監視技術の調査報告書 平成22年12月
 国土地理院技術資料 C-1-No.400、地盤脆弱性評価システムは、報告書p127~143

33

- 予防対策は、水圧を除去する工法が有効
- 多くの場合2~3m動いたら止まる(水圧が抜ける)のだから、最初から水圧を抜ける仕組みがあれば良い

恒久排水補強パイプの谷埋め盛土利用



対策は？

34

豪雨時の表層崩壊
 発生頻度ダントツ1位の現象

- 表層崩壊は、土壌雨量指数第1位~3位の時に発生する=その地域の地下水処理能力は過去の最大雨量と一致している。
- 予測法が無かった…「壊れたら直す」ので逆算法でよかったから、これからは「壊れる前に手当てする」の時代

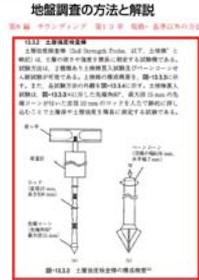


35

土層強度検査棒
 換算N値ではなく直接 $c \cdot \phi$ 計測へ

今後は事前予測技術が必要となる時代

地盤調査の方法と解説

36

透水性も現地で計測する

$K=1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ と $K=1 \times 10^{-3} \text{cm/sec}$ は「一桁しか違わない」ではなく「10倍違う」が正しい

地盤調査の方法と解説
p.555マリオットサイホンによる原位透水試験

37

ミズミチ探査！ 地下流水音計測

新設道路で、ミズミチが存在することが事前に確認された法面だけが崩れた

38

表層崩壊はパイプ流の能力オーバーで起きる

土質工学は崩壊時水圧を極めて甘く評価している、と思う

事前点検で「安全判定」の斜面が崩れた

39

爆裂孔から液体状に流下する「土」

教科書的な「円弧滑り」はほとんど存在しない

40

高水圧こそが崩壊原因のような気がする

水圧破壊的な崩壊

爆裂的崩壊
地下水が吹き出て崩壊が発生

相対的難透水性地盤
崩壊面にはパイプ穴があり、土砂は流動している

盛土本体
表層部には「相対的難透水性地盤」

崩壊面のパイプ流れ
土砂と水が流れた跡

41

表層崩壊も予測(確率評価)可能なものになりつつある

事前予測は対策の優先順位決めが重要

42

4. 低地・埋立地の地盤防災

軟弱地盤に関わる現象

- (軟弱粘土)圧密沈下・・・(省略)
- (緩い砂層)液状化
 - 液状化研究は信用できない
 - 大地震のたびに「新発見」「想定外」



1964年新潟地震からすでに50年以上経過している

東日本大震災での液状化新発見

<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h23tohoku/houkoku/happyou/2-5.pdf>

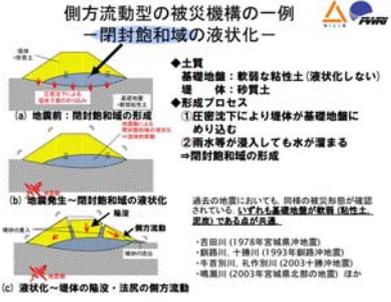
のり尻側方流動型 (鳴瀬川左岸30.0k~30.5k+37)



- 基礎地盤に変形の痕跡が見られない一方で、崩土が耕作地を覆う。⇒この地点の場合「堤体の液状化」が主要因であると考えられる。

閉封飽和域の液状化

側方流動型の被災機構の一例
閉封飽和域の液状化



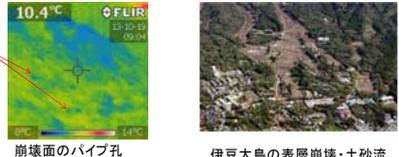
- ◆土質
基礎地盤：軟弱な粘性土（液状化しない）
堤体：砂質土
- ◆形成プロセス
①圧密沈下により堤体が基礎地盤にめり込む
②雨水等が浸入しても水が溜まる
⇒閉封飽和域の形成

過去の地震においても、同様の被災形態が確認されている。いずれも基礎地盤が軟弱（粘性土、塑性）であるが共通。

- ・喜田川（1978年宮城県沖地震）
- ・新田川、十勝川（1993年新潟県沖地震）
- ・牛首瀬川、乳作瀬川（2003十勝沖地震）
- ・鳴瀬川（2003年宮城県東部の地震）ほか

(さいごに)土の破壊は「水圧」で起きる

- コンクリート上部工や鋼構造物上部工が壊れるのは「揺れ」
- 土が破壊するのは、「高い水圧」
 - (1)豪雨時はパイプ流の被圧水化
 - (2)地震時は閉封飽和域の過剰間隙水圧



崩壊面のパイプ孔
伊豆大島の表層崩壊・土砂流

岩は水圧で吹き飛ばされた(仮説)



地下水が吹き出て崩壊が発生



自由水頭で崩壊しているように見えない



ご清聴ありがとうございました

- NPO法人都市災害に備える技術者の会
〒651-1432 兵庫県西宮市すみれ台3丁目1番地
(有限会社太田ジオリサーチ内)
TEL.078-907-3120
- URL: <http://www.toshisaigai.net>
- E-mail: office@toshisaigai.net
- 太田英将 ohata@ohata-geo.co.jp
技術士(応用理学・建設・森林・総合技術監理)
コンクリート診断士、測量士、地すべり防止工事士
一級土木施工管理士、APECエンジニア(Civil)

49