

大地から学ぶ越路の

おいたち



令和6年度地学講座野外観察会（中山隧道 2024.10.6）

【主な内容】

令和6年度新潟県越路大地の会地学講座「中越地震と能登半島地震に学ぶ」

第2回 野外観察会報告

「中越地震から20年、被害からの復旧・復興状況から防災を考える」…… 大地の会

第3回「地震を知って地震に備える、近年発生した地震から学ぶこと」

…… 長岡技術科学大学 池田隆明

第4回「地震による液状化の被害と現地調査」

…… 長岡技術科学大学 志賀正崇

令和7年度春の野外観察会開催案内

大地の会令和7年度活動予定

令和6年度地学講座野外観察会報告

「中越地震から20年、被害からの復旧・復興状況から防災を考える」

野外観察会では中越地震直後の被災状況と復旧工事完了時の写真を主な資料として20年後の現在の姿を確認するかたちで巡検を行った。

10月6日(日), 天候に恵まれたことは幸いであった。参加者は36名でした。

巡検はマイクロバス2台, 運転は大地の会会員の赤井 司さんと番場晴雄さんをお願いした。

観察場所

- ・妙見崩壊現場・横渡地すべり(信濃川対岸より)
- ・小千谷市吉谷地区・川口きずな館・中越地震慰霊碑(塩谷)・油夫川地すべり(山古志支所より)
- ・山古志復興交流館おらたる・寺野地区(河道閉塞)
- ・山古志闘牛場・木籠地区(水没家屋)・中山隧道・東竹沢地区(河道閉塞)・濁沢地区地すべり。

中越地震の特徴

震源付近の川口町で震度7が観測され, 最大級の震度であったこと, 余震の規模が大きく回数が多かったこと。そして中山間地の地すべり地帯を襲った地震であることから数多くの地すべり・がけ崩れが発生したことが特徴である。

復旧・復興にあたっての中山間地復興の新たな仕組みや現場を中心に災害を伝承する「中越メモリアル回廊」の整備などが評価されている。

観察場所の概要

1. 妙見・横渡

妙見・横渡地区の地質は新第三紀鮮新世の白岩層(約300万年前)の砂質泥岩を主体とし, 凝灰質砂岩を挟む。地層は信濃川に向かって約20°に傾斜する流れ盤である。

妙見は凝灰質砂岩層を採掘した坑道がすべり面に沿って存在していたことも背景にある。

地震動により層理面に沿った大崩壊が発生した。



図1 妙見対岸の信濃川堤防から妙見崩壊現場を観察。背後の山並みにケスタ地形が見える。

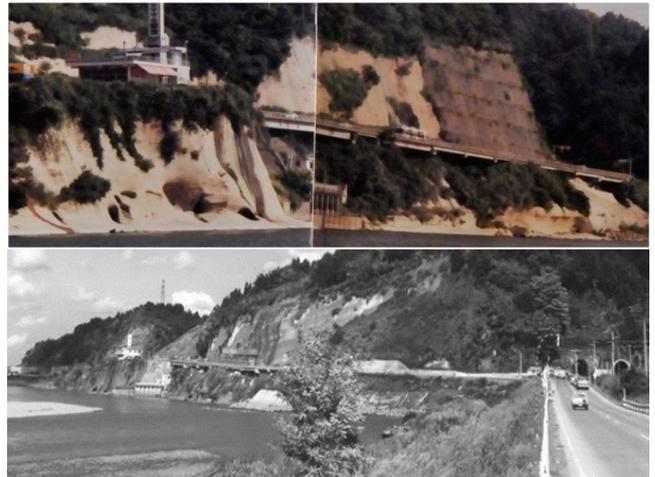


図2 国道17号線開通当時の妙見(信濃川の水面上部に採掘坑道らしき穴が見える(上)) 佐野迪則氏提供



図3 妙見崩壊直後(新潟県)

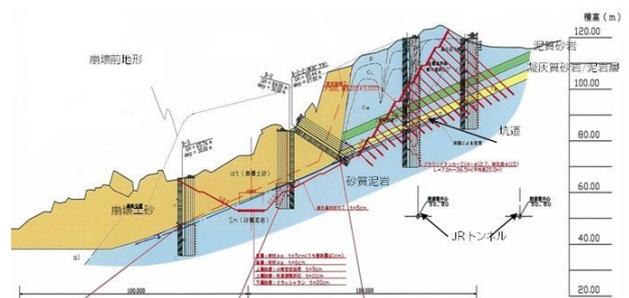


図4 妙見の崩壊状況と道路復旧計画断面図(新潟県)

2. 小千谷市吉谷地区

小千谷市における中越地震の建物の被害率(全・半壊)は信濃川右岸地域で10~20%であるのに対し, 信濃川左岸地区では10~40%と高くなる。さらに関越道の西側地域では, 桜町地区, 時水地区, 吉谷地区では45~67%になっている(図5)。

地盤が小千谷中心市街地は段丘堆積物(礫層)であるのに対し, 関越道の西側は魚沼層上部層起源の泥質の扇状地性堆積物が段丘を覆って分布している。

この地盤の違いが被害率の相違に現れている。

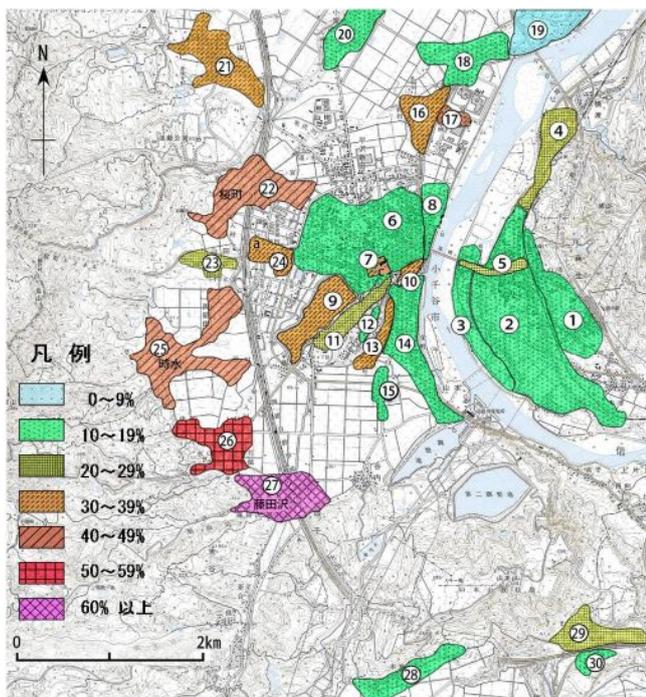


図5 小千谷市における被害率(全壊・半壊)分布図
(地団研中越地震調査団 2005)

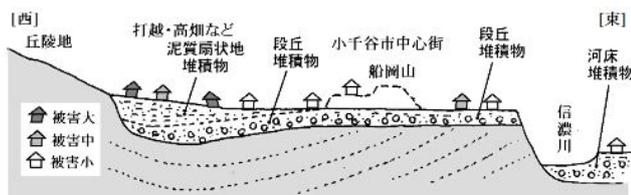


図6 小千谷市西部地域の地質断面図
(地団研中越地震調査団 2005)

3. 川口きずな館(中越メモリアル回廊)

きずな館は中越地震発生から復興の過程で築かれてきた「人と人の絆」を伝承し、新たな絆を育む交流施設である。年表「復興の歩み」や空撮マップなどで震災当日からの復興の様子がわかるようになっている(図7)。



図7 川口きずな館(パンフレットより)

4. 中越地震慰霊碑(小千谷市塩谷)

川口きずな館から山道を北へ登り、木沢集落を経て木沢トンネルを抜けて進むと小千谷市塩谷集落がある。中越地震により家屋が全壊し、小千谷市東山



図8 中越地震慰霊碑(塩谷)

小学校の児童3名の尊い命が犠牲となった。塩谷の住民により慰霊碑が建てられている。

碑文には「慰霊の碑 祈りと誓い 平成十六年十月二十三日夕刻 突如中越大地震勃発 空前絶後災禍となる 一瞬にして山容激変する自然崩壊で農地・道路・水源・電気通信・・・有らゆる生活基盤が破壊される中 家屋全壊によって三名の児童の尊い生命が奪われるという最悪の大惨事となった ここに聖観音菩薩の慈悲のもと有希君、和美さん、一輝君の天殤を悼み慰霊鎮魂の祈りを捧げるとともに塩谷町民一心の復興を誓いこの碑を建てる 平成十八年七月吉日 塩谷町民一同」とある。

5. 油夫川地すべり

山古志支所と山古志中学校のある尾根間の油夫川ではほぼ全域にわたり地すべりが発生した、油夫川右岸の地すべりは長さ250m、幅500m、移動土砂量は125万 m^3 で人家5戸が全壊し、油夫川が埋塞している。復旧にあたっては砂防堰堤1基、床固工18基、押さえ盛土35万 m^3 で油夫川を復旧し地すべり対策として集水井工、水抜ボーリング、法枠工が施工され復旧された(図9)。現在は草木が繁茂し落ち着きを取り戻している。



図9 油夫川地すべり被災状況と復旧工事完成直後(新潟県)

6. やまこし復興交流館「おらたる」

「おらたる」は山古志の地形模型を利用しプロジ

エクシオンマッピングで地震発災から復旧までの記録を紹介するとともに、被災状況、集落内避難、全村避難、避難所での生活、牛と鯉の救出、さらには仮設住宅での暮らしから帰村に至る過程などが写真等で詳しく紹介されている(図10)。

中越地震での体験や復興に向けて積み重ねてきた経験を後世に伝え、他の被災地復興への教訓を示唆する施設となっている。



図10 プロジェクションマッピング(おらたるHPより)

7. 寺野地区(大規模地すべりによる河道閉塞)

芋川流域において地すべりにより種芋原に通じる県道が崩落し、河道閉塞が発生した現場である。

地すべりの規模は長さ360m、幅230m、深さ25m、土砂量は104万m³である(図11)。

道路復旧にあたっては新たに芋川右岸に3.2kmのバイパスで復旧されている。また、芋川の河道閉塞に伴う土砂対策と地すべり対策は国土交通省湯沢砂防事務所により砂防堰堤3基及び斜面对策工が施工され安定が図られている。



図11 寺野地区大規模地すべりと河道閉塞(新潟県)



図12 震災遺構 木籠水没家屋

8. 東竹沢地区地すべりによる河道閉塞と木籠集落

東竹沢地区の大規模地すべりと河道閉塞による天然ダムは、中山間地を襲った中越地震の象徴的な現場である。

地すべりの規模は長さ350m、幅295m、深さ25m、土砂量は約130万m³である。この地すべりによる河道閉塞で上流木籠集落が水没した。震災遺構として残された木籠の水没家屋はその後の芋川の土砂流出により土砂に埋まっており、解説看板が立てられている(図12)。

東竹沢の崩壊土砂は下流の2基の砂防ダムにより流出対策が施されている(図13)。



図13 東竹沢砂防堰堤

9. 中山隧道

小松倉集落にある日本一の長さ(877m)を誇る手掘隧道がある。冬期間、困難を極めた中山峠越を何とかしようと住民自らの手でツルハシを用いて掘削した隧道である。

公共事業の原点ともいふべき隧道で、先人達の偉大なエネルギーと苦闘の歴史を伝えるものとして選奨土木遺産に認定されている。



図14 中山隧道

新潟地震が液状化の被害を伝え、兵庫県南部地震が都市災害の恐怖を、そして中越地震は中山間地を襲った土砂災害として記憶される。中越地震から20年、被災地は落ち着きを取り戻している。

1月1日に発生した能登半島地震の復旧復興が速やかに行われることを願うばかりである。

1. 地震を学ぶ

1-1 地震はなぜ起こるか

地震は地表面を覆うプレート運動により起こり、プレート境界の特に沈み込む場所の周辺で多く発生している。日本列島周辺には4枚のプレートがあり、海のプレート（太平洋プレートとフィリピン海プレート）が陸のプレート（北米プレートとユーラシアプレート）にそれぞれ太平洋沖合の深い谷を形成する千島海溝、日本海溝、相模トラフ、南海トラフで沈み込むところで歪が生じ、多くの地震を発生させる。なお、海溝とトラフは水深6000mで区分しており沈み込む構造は同じである(図1)。

1-2 日本列島周辺で発生する地震

日本列島周辺で起こる地震には、海溝型地震と内陸型地震があり、海溝型地震はプレート境界地震とプレート内地震がある。内陸型地震は陸のプレート内の活断層が原因で発生する地震である(図2)

一般に海溝型地震はプレート境界地震をいう場合が多い。日本列島周辺ではたくさんの地震が発生しているがほとんどが太平洋側で起きていることがわかる(図3)。

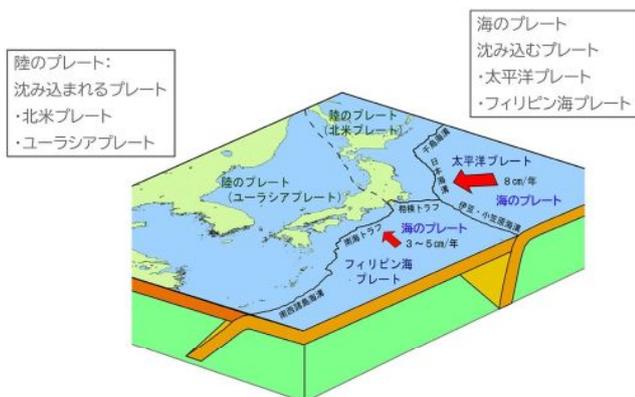


図1 日本列島周辺のプレート境界

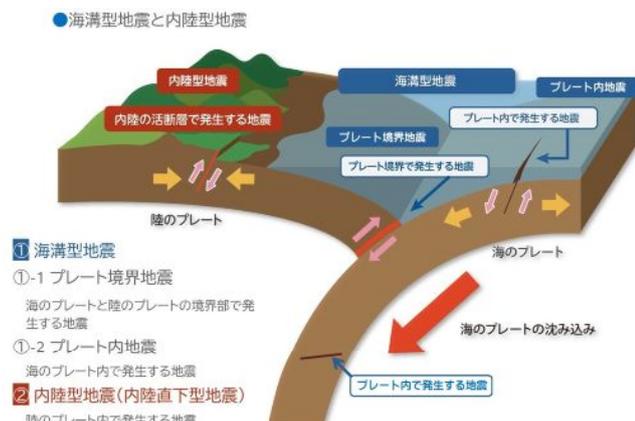


図2 海溝型地震と内陸型地震

地震の深度を見ると海溝型地震は日本海側の方が深くなっている。これはプレート境界が深いことを意味する。

一方浅い地震が日本列島内部で起きているがこれが活断層による地震である。内陸型とはいえ海でも発生するので注意する必要がある。

1-3 断層とは

断層は地下の岩盤が周囲から押されることによって割れ、割れた面が両側にずれているもので、活断層は数十万年以前に繰り返し活動し、将来も活動すると考えられる断層である。

日本場合は、東西方向から圧縮を受けていることからほとんどが逆断層型であり、能登半島地震も逆断層型となっている。

地中深くの断層のずれが地表まで到達するものを地表断層という。1995年兵庫県南部地震(M7.3)では逆断層が、2016年熊本地震(M7.3)では右横ずれ断層(2mの変位)が地表に現れている。マグニチュード6.8の規模の地震で地表に到達するということが現在のところ定説となっているがデータが集まっていないのが現状である。

活断層の存在を知るには航空写真などからリニアメントといわれる線状構造に着目する(図4)。

地震は繰り返し発生することからそのずれが地表に現れる。

富山県と岐阜県の境界にある跡津川断層では高原川が2.7kmずれている。

熊本地震がM7.3で2mのずれであることを考えると、仮に1回で10mずれるとするとM8程度の規模の地震が270回過去に起きたこととなる。非常に危険な地域と考えがちであるが、このような規模の地

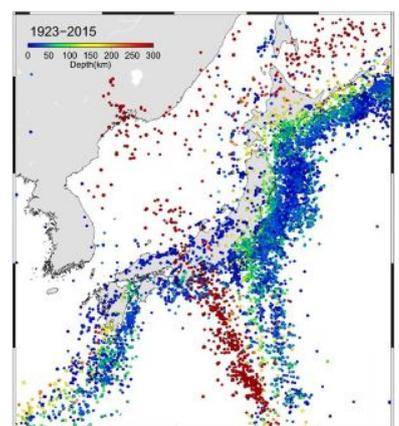


図3 日本列島周辺での地震

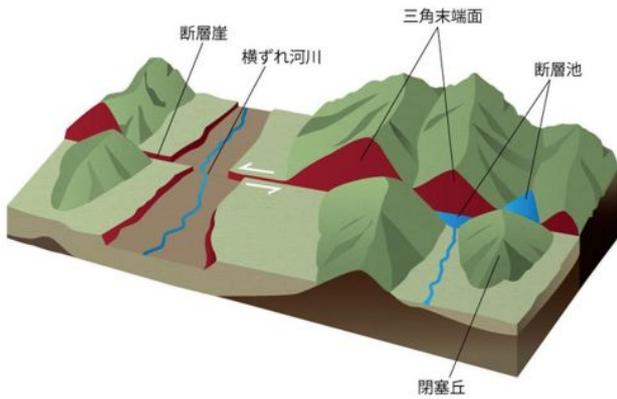


図4 リニアメント

震は一般的に 1000 年とか 2000 年に 1 回といわれている。前の地震は 1858 年 飛越地震といわれていることから、仮に 1000 年間隔とすれば次に起こるのは 2800 年となり現在危険な状態ということにはならないと考えられる。地震は周期的な活動でありいつ起こったかを調べていくことが重要と考えている。

内陸型地震は活断層による地震が多いが、活断層が確認されていない場所でも地震が発生しているので注意が必要である。2000 年鳥取県西部地震(M7.3)は活断層がないと言われていた地域で発生した地震である。幸いなことにこの地震による犠牲者はいなかったがこの地震は気象庁のマグニチュードの計算方法が変わった地震として注目されている。

1-4 マグニチュードと震度

マグニチュードは地震の規模を示す指標で断層面の大きさに依存する。日本では速報性に優れた気象庁マグニチュード(Mj)を採用しているが、世界的にはモーメントマグニチュード(Mw)を採用している。

震度は、ある場所における揺れの大きさを示す指標で現在は計測震度計による。1996 年以前は体感及び周囲の状況により設定されていた。同じ地震でも場所の条件により震度は異なっている。

震度と被害については、以前は震度 4 程度から被害があったと思うが、最近では構造物の耐震性や住宅の耐震補強も進んだことから震度 5 弱・5 強から被害が発生するようになってきていると感じている。

1-5 地震予知と地震の再現性

地震の発生時期や場所・規模を予測することは現在の科学では難しい。日本では 1962 年以降地震予知の研究が行われているが、その予知は困難である。

地震は繰り返し起こるもので、再現期間については海溝型地震と内陸型地震では結果が異なっている。

海溝型地震については 30 年以内の地震の発生確率が 26%以上との予測が出されている(図 5)。

宮城県沖地震については 1793 年以降 2011 年までの間 7 回の M7.5 程度以上の地震発生記録が残っており、発生間隔は最短で 26 年、平均で 37 年、最

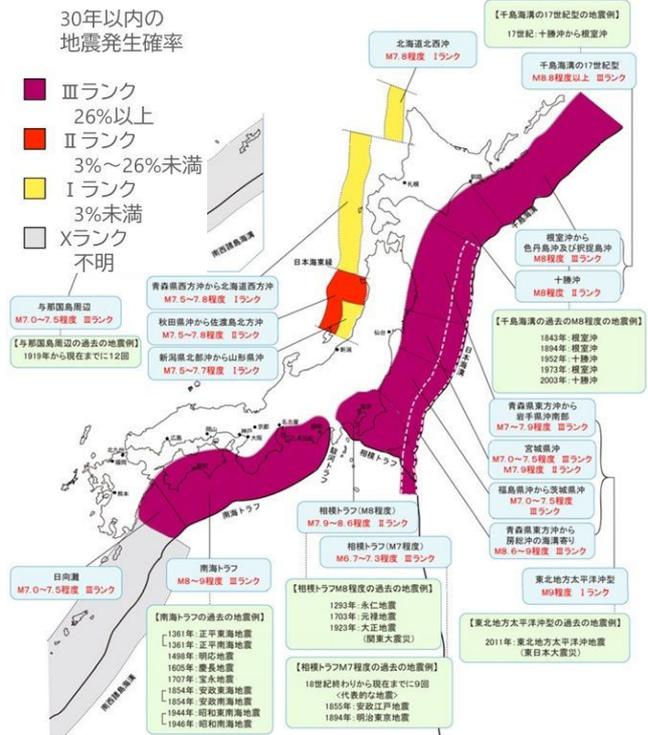


図5 海溝型地震の発生確率



図6 宮城県沖の地震の発生年

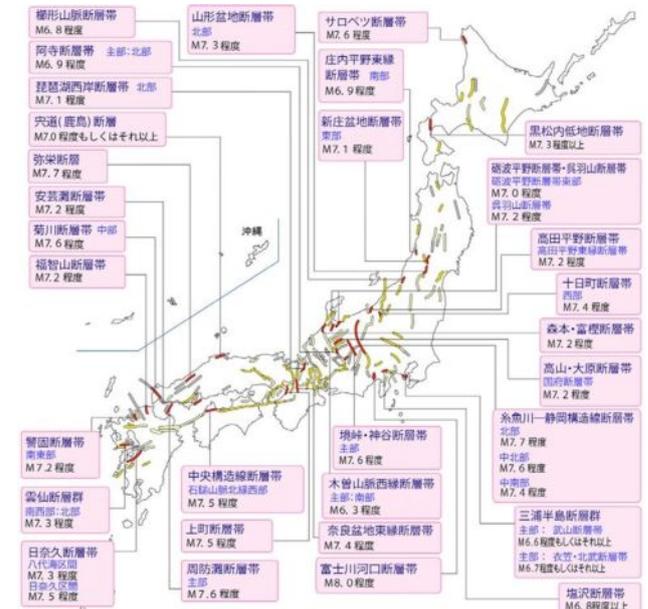


図7 内陸型地震の発生確率(赤がSランク)

長でも 42 年となっていることから，2011 年からでは最短で 2037 年となり，この地域ではさらに警戒する必要があると考えている(図 6)。

海のプレートは年間 8 cm の速度で陸のプレートに沈み込んでいることから 100 年で 8m の歪が蓄積されることとなる。

これに対して，内陸型地震についてはプレートの沈み込みにより間接的に歪がたまるものであり，歪がたまるスピードが遅く地震の記録が少ないこともありいつ発生するかわからない状況にある。

今後 30 年の発生確率では S ランクで 3% 以上。A ランクで 0.1~3% 未満と公表されている(図 7)。

2. 地震動(地震の揺れ)を学ぶ

2-1 地震動と被害

地震は地下深くの岩盤の破壊現象であり，これによる地面の揺れを「地震動」。地表面の段差やずれを「地震変位」という。地震による地震動と地震変位により被害が発生することとなる。

地震動による被害は「揺れの強さ」「揺れの長さ」「揺れ方(揺れの特徴)」による(図 8)。

揺れの強さは震源が大きいほど，距離が近いほど，地盤が軟らかいほど大きく被害が大きくなる。海溝型地震は震源から比較的遠いことに対し，内陸型地震(内陸直下型地震)は足元で揺れることから被害は大きくなる。

揺れの長さは震源が大きいほど長く，繰り返し揺れることで被害が大きくなる。

断層面は一気に壊れるものではなく，ある点から破壊が始まり，破壊が徐々に周辺の断層面に広がっていくという壊れ方をする。新たな領域が破壊する際にエネルギーが放出され，破壊が続く限りエネルギーが放出され，地盤を通じて地表に到達し地面を揺らすこととなる。従って断層の壊れる面積が広いほど長く揺れることとなる。

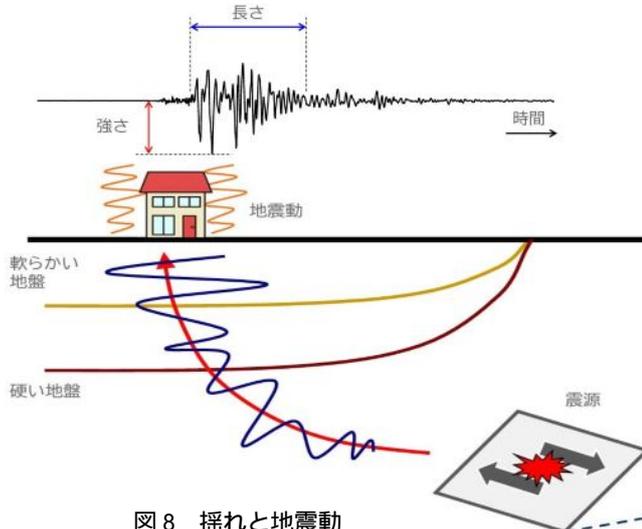


図 8 揺れと地震動

また，構造物には固有振動数があり，構造物によりダメージを受けやすい揺れ方がある。

図 9(上)は海溝型地震(2011 年東北地方太平洋地震：仙台市)の地震動である。長さ 500 km，幅 300 km の断層面が破壊され，1 分を超えさらに次の揺れがあり長い時間大きく揺れている。これに対して図 9(下)は内陸型地震(1995 年兵庫県南部地震：神戸市)の地震動で揺れの時間は 14 秒となっている。

兵庫県南部地震では地震発生後 15 秒程度の間 5500 名の方が命を落とされている。

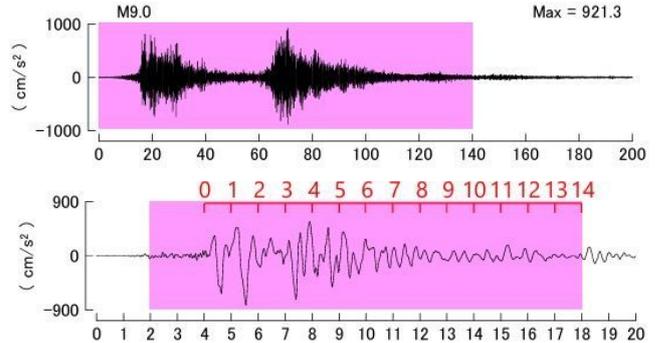


図 9 2011 年東北地方太平洋地震(上)と兵庫県南部地震(下)の地震動

2-2 地震のゆれやすさ

2024 年 1 月の能登半島地震では長岡市中之島地域で震度 6 弱を観測した。長岡市中心部では震度 4 となっている。

長岡市内のかなり狭い範囲でも揺れ方が違い，地盤が軟弱な場所は揺れやすいことから地盤の環境に合わせた耐震対策が必要となってくる(図 10)。

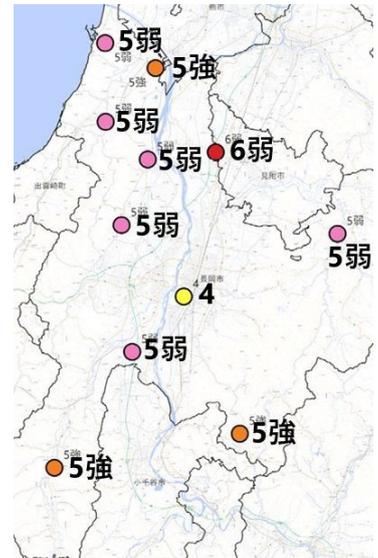


図 10 能登半島地震の震度(長岡市)

3. 地震被害を学ぶ

3-1 断層変位による被害

1999 年台湾・集集地震における石岡ダムでは断層変位による破壊が確認されている(図 11)。断層の変位は左右で 10m の変位がありダムは壊れた。日本では活断層上にこのような重要構造物はつくらないのでこのようなことは起きないと考えている。

また，海外ではいろんな設計思想があり，グライドダム(ニュージーランド)では断層変位を考慮した設計のダムを築造している。日本ではこのような設計も許されていない。



図 11 断層変位によるダムの破壊

3-2 木造家屋の被害

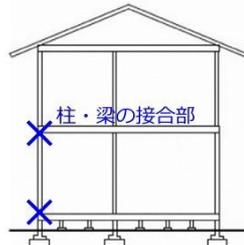
木造住宅では比較的新しい住宅を含めて1階が倒壊している家屋被害が目立つ(図12左)。

被害の原因は、柱と梁の接合部の破壊や柱・基礎の接合部の破壊及び基礎の破壊によるものと考えられる。これらの被害を防ぐための耐震補強にあたっては、屋根の軽量化やプレス(筋交い)の設置、壁量の増加、部材接合部の金具による補強、基礎の補強などを行うことによりかなり地震に強い住宅とすることができる(図12右)。



熊本地震

能登半島地震



柱・梁の接合部

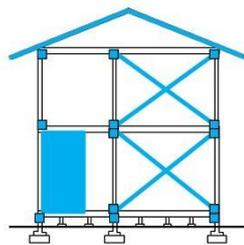


図 12 木造家屋の被害と被害形態・対策

また、瓦屋根の住宅でも被害を受けていない事例もあるほか、新耐震基準住宅でも熊本地震で震度7の地震を2回受けた住宅は、倒壊は免れたものの資産価値は失われている事例もある(図13)。



図 13 瓦屋根で無被害の住宅(能登半島地震)(左)と新耐震基準住宅の被害(熊本地震)(右)

3-3 RC 建築物の被害

鉄筋コンクリートのマンションや病院などでも1階や中間階が壊れている被害がある。新耐震基準以前の設計の建物で明らかに鉄筋量が不足しているものと考えられる(図14)。



図 14 RC 建物の被害

能登半島地震では建物上部は壊れていないが基礎の被害により転倒し隣の住宅を潰している。この原因については現在調査が進められている(図15)。



図 15 基礎の被害により転倒いた建物

3-4 斜面・土構造物の被害

熊本地震では阿蘇大橋付近では地震で壊れた橋が土砂崩れで流されている。地形を確認すると過去に崩壊した痕跡が見受けられ、地山が弱い所と考えられる。道路や鉄道などインフラの多い個所では点検を行い、壊れてはいけないところはしっかりとケアしていくことが重要と考えている。

地震に伴う自然斜面の崩壊は2018年北海道胆振



図 16 緩斜面の被害(2016年熊本地震)

東部地震や 2004 年中越地震でも多く発生しているが、急斜面に限らず緩斜面でも発生していることから注意が必要である(図 16)。

また、道路盛土や宅地盛土の箇所の被害は各地の地震で報告されていることから、人工的な盛土は特に注意する必要がある。

3-5 地盤の液状化

能登半島地震では内灘町で顕著な液状化被害があった。内灘町は日本海に沿って砂丘が形成され、砂丘に沿って町が発展しており、砂丘の裾に沿って液状化と土砂の流動が発生し家が傾くなどの大きな被害を受けている(図 17)。地盤改良した住宅でも家は健全であったが周囲の住宅や上下水道も被害を受けていることから液状化対策は点ではなく地域で実施しないと生活空間の確保は難しい。

内灘町と同様の被害が新潟市でも発生していることから、同じような地盤条件の所では同様の被害が発生することとなる。

- 内灘町の液状化・流動被害
- ・砂丘の裾に沿って液状化と流動が発生
- ・家屋やライフライン、道路に大きな被害を誘引

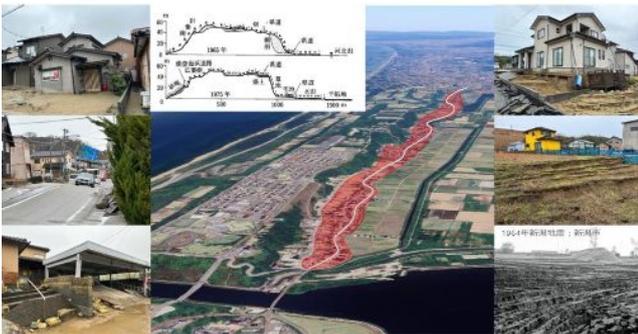
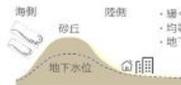


図 17 内灘町の液状化・流動被害

4. 2024 年能登半島地震を学ぶ

4-1 能登半島の成り立ち

日本列島の成り立ちは約 3000~1800 万年前の日本海の拡大から始まる。拡大が始まるときは左右に引っ張られるので断層の形としては正断層となる。

その後、東西方向の圧縮を受けて隆起する時に逆

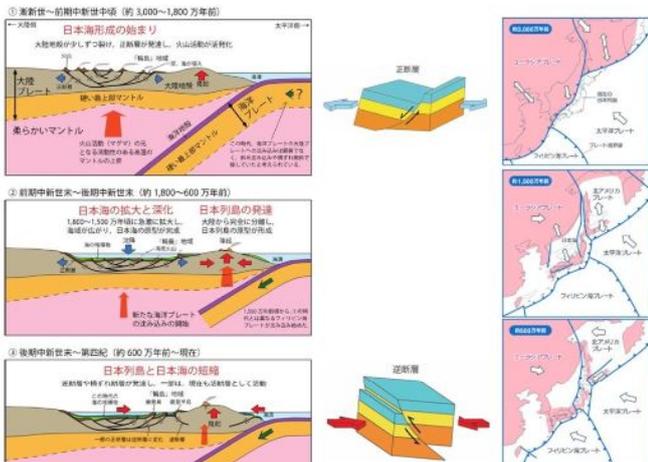


図 18 能登半島周辺のテクトニクス

断層型の断層ができ、このような断層運動による上盤の隆起により能登半島もできたと考えられている(図 18)。

4-2 能登半島地震

2024 年 1 月能登半島地震は能登半島の地下 16 km で発生した内陸型地震で M7.6, 最大震度 7 を観測した。1983 年日本海中部地震 (M7.7), 1993 北海道南西沖地震 (M7.8) と同様の日本海東縁で発生した地震である。この地域で発生する地震は余震の回数が多いことが特徴である(図 19)。

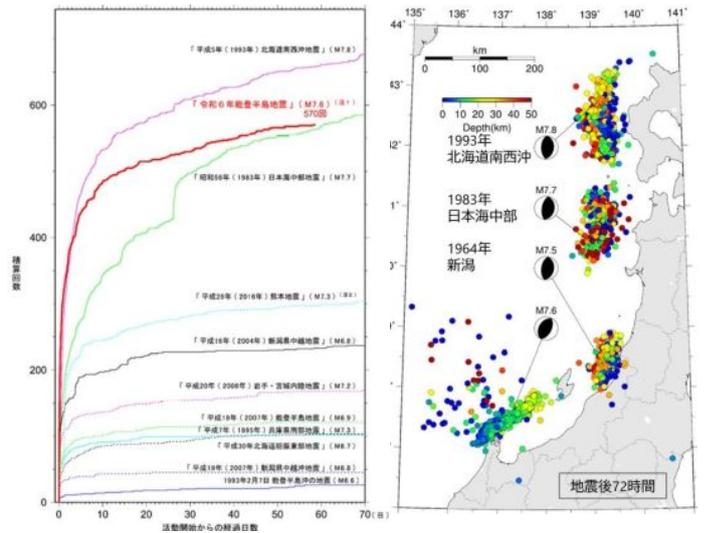


図 19 能登半島地震の余震活動

4-3 能登半島地震の地震活動

能登半島では 2007 年に能登半島地震 (M6.9) が発生しており、2020 年 12 月頃から半島の先端部に群発地震が発生している。この群発地震が今回の地震に影響しているものと考えられる。

地震活動は、地下深部の流体が移動しその流体が断層面に潤滑油のような働きにより今回の地震が起こったと考えられている(図 20)。

能登半島地震は 2 つの地震が (地震 と地震) が 13 秒間隔で発生したと分析されており、最初は震源から南西方向に破壊が進展し、続いて震源から

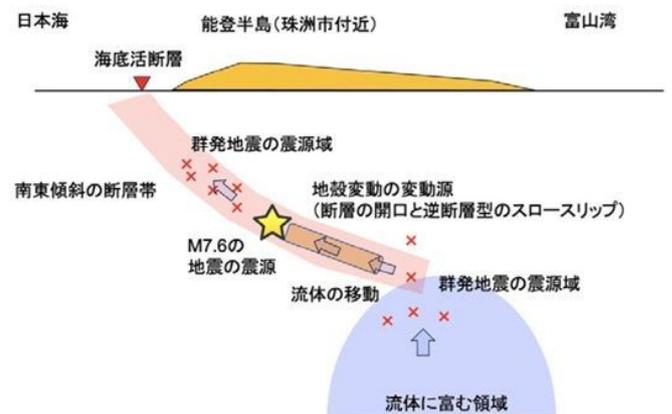


図 20 能登半島地震の地震活動

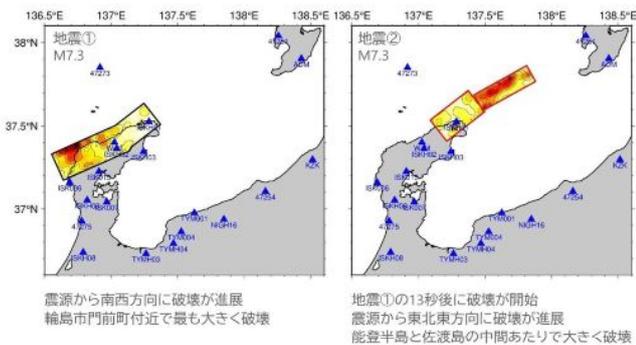


図 21 震源インバージョン

東北東方向に破壊が進展。それぞれ M7.3 の地震が連続して発生したといわれている(図 21)。

地震に伴う変動は、輪島市黒島港付近で 4m の隆起、西向きに 2m の変動があったと観測されている。このような隆起を繰り返し、現在の能登半島が成り立っているものと考えられる(図 22)。

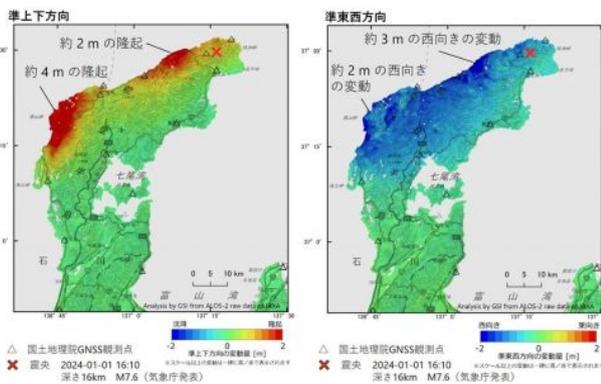


図 22 能登半島地震による地殻変動

5. 南海トラフ地震を学ぶ

5-1 南海トラフ地震

南海トラフ地震は南海トラフ沿いに 3 つの震源域(東海地震・東南海地震・南海地震)を持っていて過去 1400 年間に於いて約 100~200 年の間隔で大地震が発生している。

ポイントは 1605 年, 1707 年, 1854 年の地震は 3 つの地震域で連続して起きているが, 東海地震は 1854 年から 160 年以上起きていないことである(図 23)。(東南海地震は 1944 年。南海地震は 1946 年に発生) このことから東海地震が危ないということで地震対策が東海地震を対象に行われてきた。

ところが 2011 年の東北地方太平洋沖地震は宮城県沖のみならず三陸沖北部から房総沖までの長さ 500 km, 幅 300 km に及び, M9.0 の大地震が発生した。

このことから東海地震を引き金にして東南海, 南海に及び大地震となる可能性があるということで地震対策が進められることとなる。

南海トラフ地震の監視区域内において, Mw7.0 以上の地震が発生した場合など南海トラフ地震臨時情報(調査中・巨大地震警戒・巨大地震注意・調査終

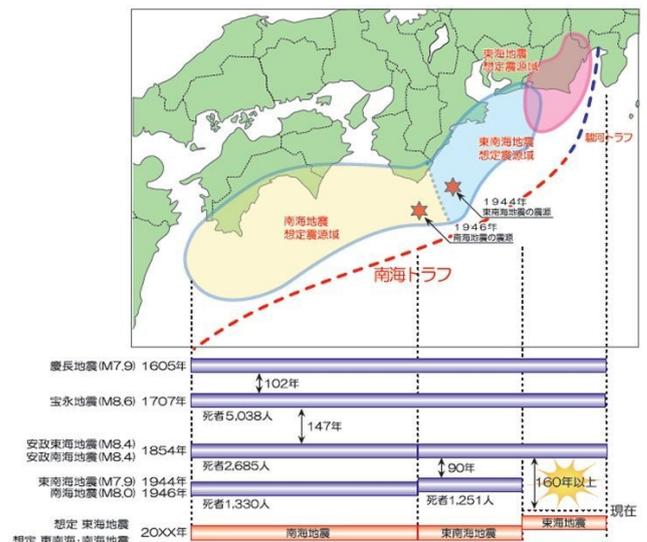


図 23 南海トラフ地震想定震源域と発生年

了) が発表されるルールがつけられた。

2024 年 8 月 8 日の日向灘の地震は Mj7.1 (Mw7.0) で監視区域の境界で発生した(図 24)ことで「巨大地震注意」が発表された。

この地震が直接南海トラフ地震に結び付くものではないと考えるが確証がなく, この地域の危険性を知らしめ警鐘を鳴らす意味では間違った判断ではないと考えている。

南海トラフ地震の長期評価では 30 年以内に 70~80% であり必ず発生する地震であると考えている。

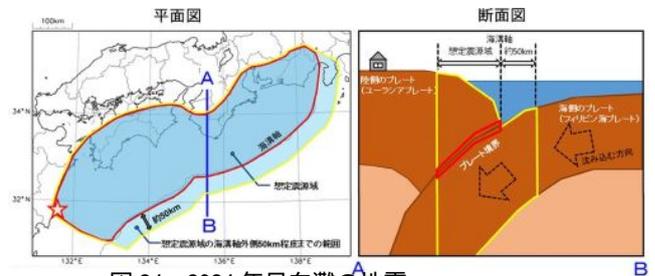


図 24 2024 年日向灘の地震

6. 耐震基準を学ぶ

6-1 建築基準法と耐震基準

建築基準法は第 1 条に「最低の基準を定める」とある。大地震時に避難できる時間を稼げる程度の構造計画で, 建物の再利用はできず余震での設計はされていないことを理解しておく必要がある。基本的には建築基準法で定める強度より以上のものをつくる事が重要と考えている。

現在の耐震基準は 1981 年に改訂されているものでこれ以前のを旧耐震, 以降を新耐震と呼んでいる(図 25)。旧耐震と新耐震ではかなりの強度の違いがあり, 旧耐震でつくられた住宅は耐震補強を行っておく必要がある。

木造建築物の振動台実験(兵庫県南部地震のゆれ)では, 旧耐震の住宅は数秒で倒壊し避難が難しいが,

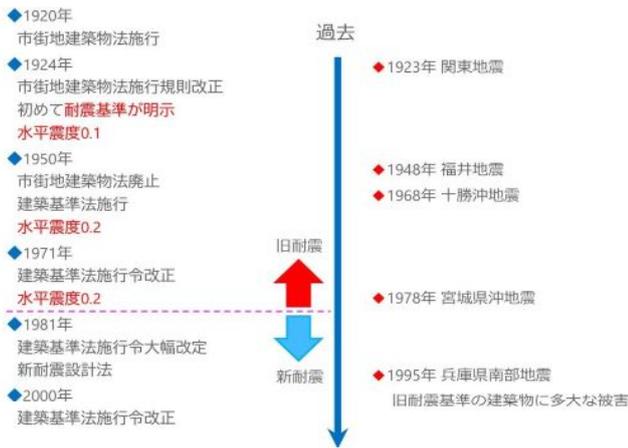


図 25 耐震基準と震災の変遷

新耐震の住宅は壊れるが倒壊しない。住み続けることはできないが避難はできるという結果である。

6-2 建築物耐震指標と耐震性

構造物の耐震指標は以下で表される。

$$\text{耐震指標}(I_w) = \text{保有耐力}(P_d) / \text{必要保有耐力}(Q_r) \quad 1.0$$

$$P_d = P \times E \times D \quad (P: \text{強さ}, E: \text{耐震要素の配置による低減係数}, D: \text{劣化度による低減係数})$$

建物が持っている地震に対する耐力が地震時に必要とされる建物の耐力を上まわれれば避難できる時間があると評価される。ここで耐震要素の配置による低減 E について考えてみる。

建物には重心(重量の中心)と剛心(剛性の中心)があり、剛心を中心に重心が揺れることとなる。シンプルな構造では重心と剛心が一致し偏心は 0 であるが、壁の多いふる場や台所の集中や複雑な構造のものは重心と剛心が離れている。この場合は偏心が大きく、地震時に大きなダメージとなることがあるので配置には注意が必要である。

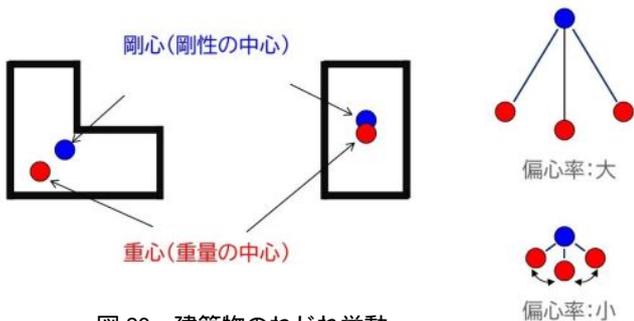


図 26 建築物のねじれ挙動

6-3 建築物の耐震性能の向上(耐震等級)

耐震等級は「住宅の品質確保の促進等に関する法律(品確法)」での耐震性の判断基準であり、等級 1 は建築基準法に定められた耐震性能で、等級 2 は等級 1 の 1.25 倍、等級 3 は 1.50 倍の強さがあると定義されている。

耐震等級を上げるためには、壁の強化(筋交いなど)、床と屋根、柱と梁の接合部、基礎、梁などの強化を行うことによる。

7. 地震防災に有用な情報サイトを学ぶ

地震防災を考えるにあたり各機関からいろんな情報が発信されている。以下に有用なサイトを紹介しておくので活用されたい。

地理院地図/国土地理院

(地形分類図, 活断層図, 土地の成り立ち)

J-SHIS 地震ハザードステーション/防災科研

(全国地震動予測地図, 地盤増幅率, 震源断層情報)

活断層データベース/産業技術総合研究所

(活断層マップ, 主な地震被害)

震度データベース検索/気象庁

(1923 年以降に発生した地震と震度の検索)

今昔マップ/埼玉大学

(現在と過去の地図の比較)

地図・空中写真閲覧サービス

(過去に撮影された航空写真の検索と閲覧)

新潟県内の液状化しやすさマップ/国土交通省

新潟県土砂災害警戒情報システム

8. おわりに(何をすべきか?何を準備すべきか?)

ある大きな地震のニュース映像で以下の報道がされていた。「家が倒壊した方の話を聞いたところ、自分が助かった理由として一番多かったのは、とにかく外にでることだ。地震が起きた際に外に出ることは危険なことだが今回の地震では外に出た方は無傷で避難できている。自分の上にタンスが乗ってそれが身を守ってくれたと話す方や風呂場において傷を負ったが命は助かったという人もいた。取材して一番感じたのは地域の結び付きである。暗闇の中でも助けてという声を聞いただけでその人が誰か、どこにいるかがわかり救助隊を呼べたという話も聞いている。これだけの大地震の中で死者 0 という結果につながった一番の理由は地域の結びつきではなかったかと感じている」という内容である。

果たして、地域の結びつきが死者 0 につながったかである。家が倒壊して死者 0 で済んだのは偶然に過ぎないと思っている。報道で伝えてほしいのは倒壊しないように耐震補強を行う必要性などではなからうか。

地震・災害が来る前にすべきことは、まず自分で行う(耐震補強などの自助)、地域による共助の輪を広げることはもちろん大切である、しかしそこには限界があり、公助の仕組みや流れをつくっておく必要があると思っている。

(当日の配布資料・講演内容から記述, 文責は大地の会)

1. 地盤工学・土質力学について

地盤工学・土質力学は「自然と人間社会の境界として「地圏」を対象として、人間が自然の脅威から身を守り、また、自然を利用して快適に効率よく暮らす」ための技術体系である。

地質学や地理学と密接な関係にあるが物理学・力学を通じた地盤の挙動や変形などの理解を試みる学問といえる。

構造物と地盤は切っても切れない関係で、日本最古の木杭は鎌倉時代に建設された相模川の橋脚の基礎杭として残されているほか、版築といって古墳時代に古墳や建物の基礎を固める際に堰板で枠をつくり中に土を入れて突き上げることで地盤を強固にしてきている。

近代以降、人が手を入れる土の対象が広くなり、様々な問題が出てくるようになった。例えば近年開発が進む軟弱な地盤での都市開発や盛土、トンネル、橋や高層ビルの基礎などである。

地盤の耐震性能については1964年の新潟地震以降注目されるようになった。以前から地震はあり、建物の耐震性能は検討されたが地盤の耐震性能は検討が不十分であった。また、最近では掘削など地盤を変化させることにより含まれる重金属や地下水への影響なども評価の対象となってきている。

2. 地盤の強さとは

2-1 土の種類

土の分類は分野に寄って違うが地盤工学では構成する粒の大きさを分類している(図1)。

粘土(2 μ m以下)、シルト(2~75 μ m)、砂(75 μ m~2mm)、礫(2mm~)である。粒の大きい礫は透水性が高く密度の観点からは礫は密であるといえることができる。

土は種類によって問題を抱えている。粘土は地下水の汲み上げなどによる圧密で地盤沈下を生じさせ、砂は液状化の発生である。

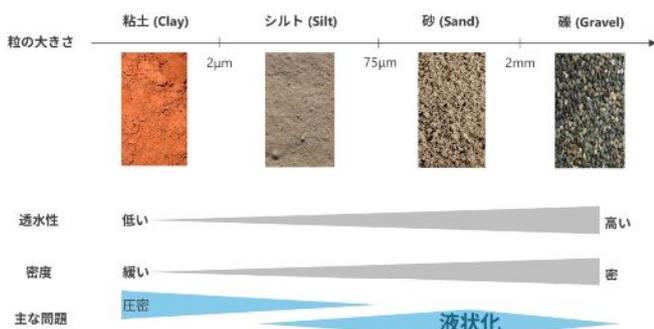


図1 土の種類(粒の大きさに着目した分類)

2-2 地盤の変形

能登半島地震では以下の地盤変形の代表的な事例がみられる(図2)。地殻変動:輪島市の鹿磯漁港付近では4mの隆起が確認された。逆断層型の地震による半島の隆起である。

緩斜面の流動:内灘町では液状化による地盤の流動で平坦な県道が波打ち住宅は壊れていないが大きく傾く被害があった。盛土の崩壊:能登町では谷を埋めて平坦な土地を造成した盛土が崩壊している。ここでも住宅は無傷であることが特徴的である。噴砂:液状化した地盤は水圧が高い状態であり、砂と共に噴き出す現象である。



図2 能登半島地震による地盤の変形

2-3 地盤の強度

地盤の破壊は滑ろうとする力(外力)が滑りを防ごうとする力(強度)をうわまわることで発生する。

もともと、地盤を構成する土粒子(特に砂や礫)は大気中ではバラバラで強度はゼロである。粘土についても脱水した状態では強度は低い。実際の建物の基礎を支える地盤の強度を決定づける要因は、密度や拘束圧その他

である(図3)。ここでは密度と拘束圧について地盤の強度との関係について説明したい。

密度は地盤の中で重要な要素であり、密度が高い方

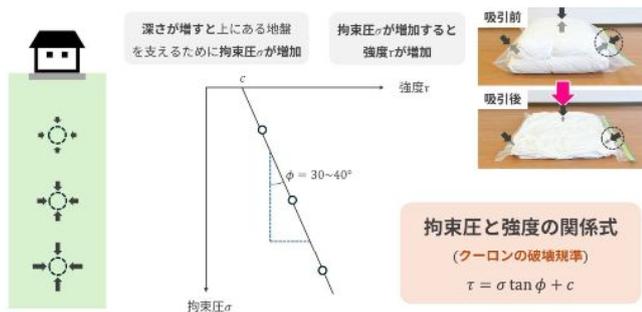


図3 地盤の強度を決める要因

が変形しにくく強度が高いこととなる。身近な例で、硬めのクッションと軟らかめなクッションを考えると同じ体重の時、硬めのクッションの方が中身がぎっしり詰まっていて変形が少ないことで分かる。

拘束圧は、外側から押される力でこれが増加すると強度が増加する。布団の圧縮や雪玉を固めたようにふわふわの状態からカチカチの状態になり、拘束圧によってももの性質が変化する。

建物の基礎地盤では深さが増すと拘束圧が大きくなり直線的に強度が増加することが実験で分かっており、この拘束圧()と強度()の関係式をクーロンの破壊規準という(図4)。



液状化で問題となるのは主に10mよりも浅い地盤であり、住宅の基礎ではこの層の強度が重要となってくる。一方高層ビルなどでは浅い層では強度が不足することから下層の強度の高いところを支持基礎とする必要があり杭基礎などが採用される。

3. 地盤の強さと水の関係

3-1 水は地盤の強度を下げるのか？上げるのか？

豪雨などで地盤が緩み土石流が発生するなどがある一方で水田などでは降雨後の土が固まる状態などがある。雨で地盤が緩む？雨降って地固まる？は相反することでこの疑問を考えてみる。

地盤を構成するものは土粒子と水(間隙水)と空気とで構成される。地下水面が高いとき、拘束圧は土の粒子が支える有効応力と間隙水圧uの和で表される(図5)。地下水面が低いときは間隙水がなくなるのでσ = σ'である。従って水で飽和していない土が水で飽和される状態となった場合、間隙水圧uの分、

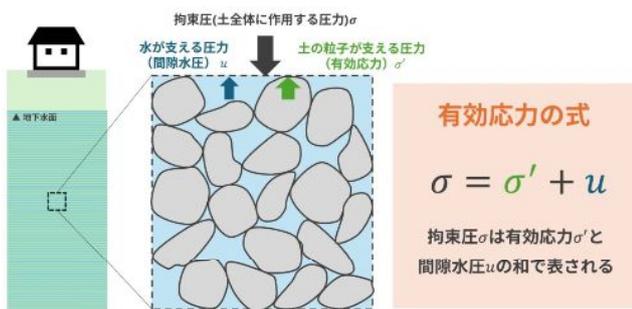


図6 飽和した場合の強度低下

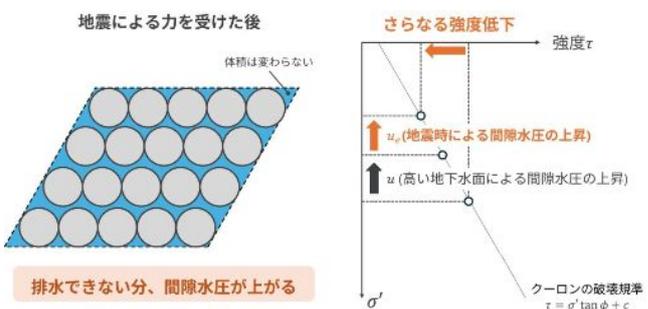
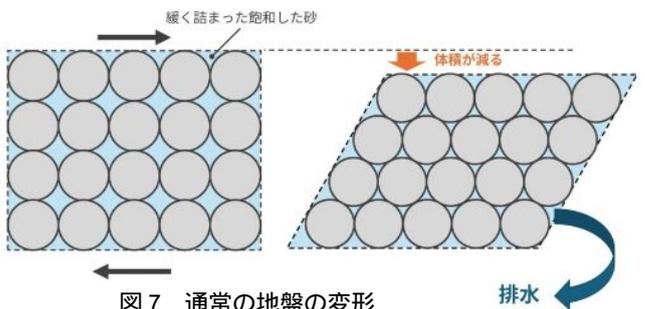
強度が低下することから「雨が降ると地盤が緩む」ということになる(図6)。

4. 液状化発生メカニズム

4-1 地盤の変形メカニズム

緩く詰まった飽和した砂の地盤は力を受けると変形し体積が減るが、このとき土の粒子は硬いので堆積が減るのは中の間隙水が排水されることによる。これが、普通に地盤が変形する現象である(図7)。

しかし、地震時には短時間で大きな地震動を受けることで排水ができず、体積が変わらない状態で間隙水圧が上がることとなり、更なる強度低下を起こして地盤が変形することとなる(図8)。



5. 過去に発生した液状化

5-1 歴史地震による液状化痕跡

液状化現象は1964年の新潟地震から注目されるようになったが、越後平野の各地で液状化の痕跡が地質の断面トレンチなどにより噴砂痕や砂脈として地層に残っていることが報告されている(図9)。

また、1828年三条地震に関する論文からも古文書

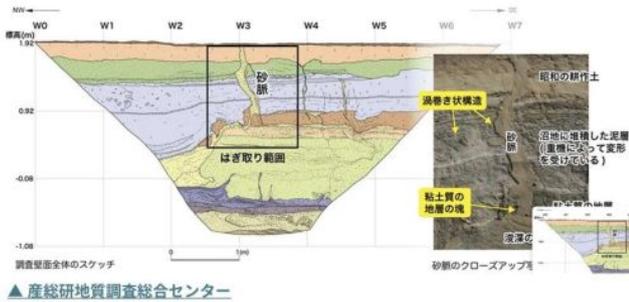


図9 液状化の痕跡(砂脈)

から地震被害と共に液状化現象を伺い知ることができる。

5-2 1964年の2つの地震/新潟地震/アラスカ地震

新潟地震は近代都市で大規模な液状化が発生した初めての事例である。新潟市で1530棟中340棟の鉄筋コンクリートの建物、率では約20%の建物が液状化被害を受けている(図10)。

この地震以前は基本的に震源が遠ければ地震被害は小さいといわれていた。新潟地震は建物の被害は震源からの距離ではなく地盤の特性によっても決まることを工学的・学問的な意味で投げかけた地震であった。

能登半島地震の震源から新潟市は150km離れているが液状化により大きな被害が発生している。

1964年のもう一つの地震はアラスカ地震である。大規模な側方流動が首都アンカレッジで発生している。アラスカ地震は新潟地震に比べ人口が少ないことあって人的被害は報告されていないが、大規模な構造物が倒壊する被害が発生している(図11)。

この2つの地震により液状化はどのように抑制したらいいか、液状化に対してどのような対策を行ったらいかが考えられるようになった。



図10 新潟地震の被害



図11 アラスカ地震の被害

5-3 リービッチの最小律とドベネックの桶

リービッチの最小律とは植物の成長速度や収量が、必要される栄養素のうち、最も少なく与えられたものに影響されるという法則である

私見ではあるがこれと同じようなことが1964年からおきていたと考えている。1912年関東大震災において都市部に壊滅的な被害が発生した。地震に対して構造物が壊れないようにと構造物側の耐震性能を上げてきたが、建物が建つ地盤の耐震性能は重要視されてこなかった。

リービッチの最小律でいうMinimumの構造物の耐震性能が上がると次は地盤の耐震性能が都市の防災の性能を決めてしまうのではと考えている(図12)。



図12 リービッチの最小律

5-4 1995年兵庫県南部地震

1964年新潟地震から液状化の研究が進められ、地盤の耐震基準についても年々引き上げられてきた。

しかし兵庫県南部地震では港湾施設や河川堤防で液状化が発生し被害を受けた(図13)。

この地震は地盤工学者にとってもかなり教訓となる地震でこのような地震を踏まえながら地盤の耐震性能を上げることに努力している。



図13 兵庫県南部地震の液状化被害

6. 液状化の対策

6-1 液状化対策の基本原則

液状化は密度が低く、飽和した水があり、そして砂であること。この3つの条件に地震が発生し間隙水圧が高まることで発生する。

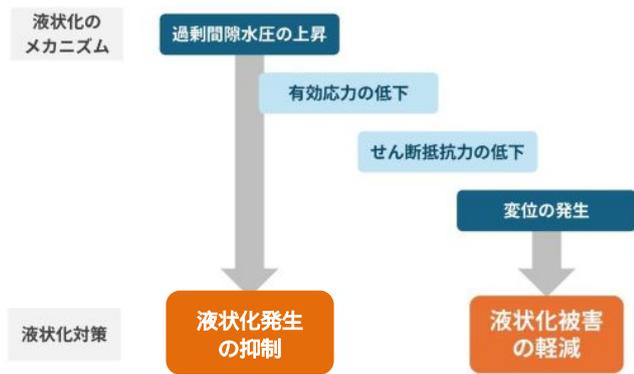


図14 液状化対策の基本原理と対策

液状化対策は3つの条件と間隙水圧の高まりを何とかし抑えることで発生を抑制できることで、たくさんの方が考えられている。

6-2 液状化発生抑制

液状化の発生を抑制する対策としては以下の工法がある

土の性質改良や液状化地盤の周辺条件の変更により液状化発生を抑制する対策思想

液状化：① 緩く飽和した砂質土で④ 間隙水圧が高まることで発生

- ① 緩い(密度が低い)→密度を高く！
 - ・ 締め固め工法：サンドコンパクションパイル工法
- ② 飽和した→飽和度を下げる！
 - ・ 地下水位低下工法：ディープウェル工法
- ③ 砂質土→変形しにくい砂質土に！
 - ・ 固化工法：混合処理工法、薬液注入工法
 - ・ 置換工法：掘削置換工法、圧入置換工法
 - ・ せん断変形抑制工：格子状地盤改良、連続地中壁による工法
- ④ 間隙水圧の上昇→上昇した水圧をすぐに消散させる
 - ・ 間隙水圧消散工法：グラベルドレーン工法

図15 液状化対策工法

例えばサンドコンパクションパイル工法は強固に締め固めた砂杭を地中に造成して密度を高めることで強度を増加させる工法である(図16)。また地下水低下工法は砂の中の間隙水で満たされていることが問題であることから地下水位を低下させるもので原理的にわかりやすいことから2011年東北地方太平洋

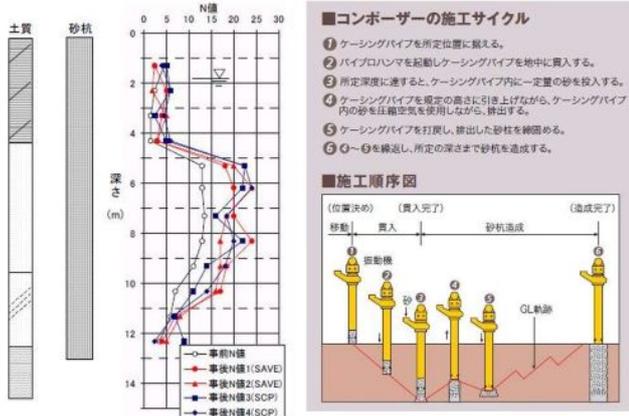


図16 サンドコンパクションパイル工法

地震や2016年熊本地震で液状化を受けた地域で採用が進んでいる工法である。しかし、海岸地域では地下水の供給があることからポンプを動かし続ける必要がありランニングコストがかかることと、沈下による高潮や洪水などを念頭におく必要がある。

6-3 液状化対策・修繕の費用

住宅などを建てる前、液状化を起こす前の対策は、大型の機械で行えば施工面積当たりの単価は安いが戸建て住宅などでは施工面積が少ないことから単価は比較的高くなっている(図17)。

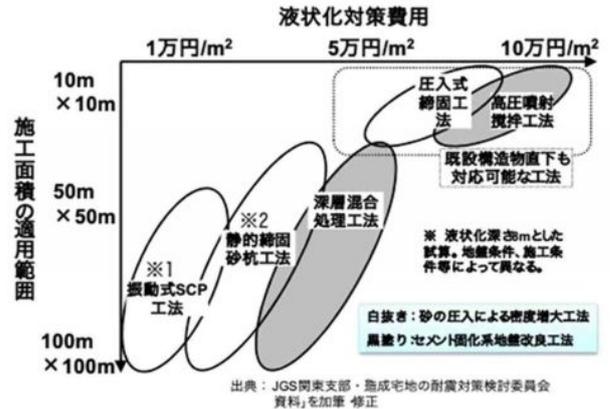


図17 液状化対策費用

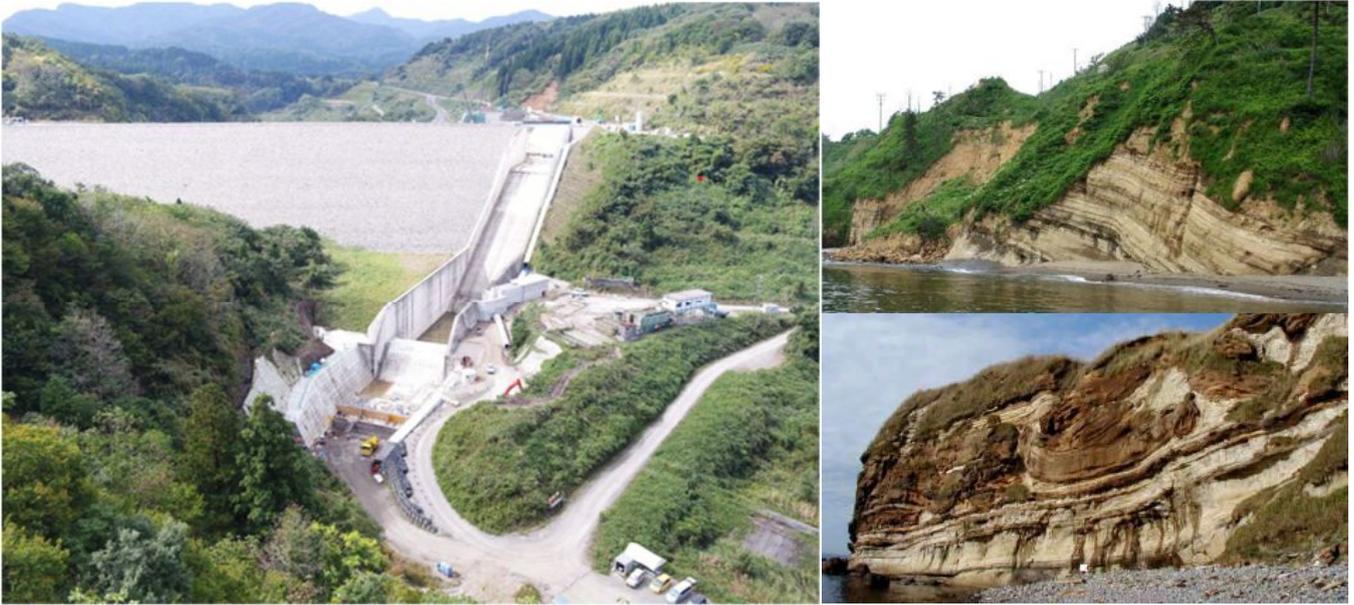
また、液状化を受けたときの修復工法と費用を表1に示す。一番安いポイントジャッキ工法でも200~300万円となっている。住宅では少しの傾斜でも健康被害が考えられることから早く修復する必要があるが、工期も数週間、業者数も少ないことから思い通りに行かないのが現状である。

表1 液状化修復工法

工法名	アンダーピン工法	耐圧版工法	ポイントジャッキ工法	注入工法
工法の概要				
基礎下を掘削して建物荷重により1m程度の管杭を掘り足しながらジャッキで圧入する。支持層まで貫入後、これを反力にしてジャッキアップする。	基礎下を順次掘削して仮受けと打設を繰り返して良質な地盤面に一体の耐圧版を構築し、耐圧版を反力にしてジャッキアップする。	基礎を一部削り土台下に爪付きジャッキを挿入してジャッキアップする。補強等を行い既存基礎を再使用する場合が多い。	基礎下へグラウトや薬液等を注入し、注入・膨張圧によりアップする。	
工期	3~6週間	3~5週間	3~5週間	1~2週間
工事費	600~1000万円程度 支持層の深さにより変動	500~700万円	200~300万円 床・壁の復旧費用が別途必要	300~600万円
備考	液状化層下部の地盤で支持すれば再液状化に対しても効果が期待でき、現状の修正工法では最も信頼性が高い。支持層が深くなるほど掘り足す箇所が多くなるため、掘り足すの品質や鉛直度合いに注意が必要。 ※1 トンネル式に掘削することにより可。但し地盤条件による。	支持層が浅い場合や沈下が終息しているときに採用される工法であるため、再液状化に対しては注意が必要。 ※2 トンネル式に掘削することにより可。但し地盤条件による。	沈下が終息しているときに採用される工法であるため、再液状化に対しては注意が必要。アンカーボルトを切断してジャッキアップするため、修復後の基礎と上家の繋結にも注意が必要。	液状化層への注入改良ができれば再液状化に対しても効果が期待できる。工事後、1年程度地盤が安定するまで経過観察が必要。

令和7年度大地の会春の野外観察会のご案内

完成まぢかの鵜川ダム現場と柏崎周辺の地質



鵜川ダム（柏崎市清水谷） 上：椎谷層（椎谷岬）下：田塚鼻 層内褶曲（笠島）

鵜川ダムは、柏崎市街地を洪水被害から守ること及び渇水時の流量確保を主な目的として建設されている堤高55.0mの中央コア型ロックフィルダムです。平成16年本体工事に着手され、現在本体の盛立が完了しています。平成25年の盛立工事前に現場を見学しました。今回は、完成まぢかのダム工事現場を見学しダムの役割・構造と施工について学ぶこととします。

柏崎・米山周辺の海岸には特徴的な露頭が多くあります。田塚鼻の層内褶曲のスケールは国内最大級であり、一体どのようにしてできたのでしょうか。また、椎谷岬付近では中越沖地震で最大二十数cmの隆起がありました。500万年前ころの椎谷層などの露頭観察からダイナミックな大地形成の歴史・成り立ちについて思いを巡らせましょう。皆様の参加をお待ちしています。

主な観察地：鵜川ダム，柏崎市立博物館，田塚鼻，椎谷岬 など

期日：2025年5月24日（土） 雨天決行

集合場所：長岡市越路支所（長岡市浦715番地 TEL：0258-92-3111）

時間：8時00分集合，8時15分出発，17時30分越路支所帰着予定

対象：どなたでも参加できます。

募集人員：40人（先着40人で締め切ります）

案内者：新潟県柏崎地域振興局地域整備部、大地の会顧問団

参加費：大地の会会員 2,500円，一般 3,000円（博物館入館料込み）
（参加費はバス代・資料代など。当日ご持参ください）

申し込み：4月25日（金）までに、電話・FAX又はメールで下記へ。

電話：0258-92-5910 FAX：0258-92-3333（長岡市越路支所）

メール：koshiji@daichinokai.sakura.ne.jp（大地の会事務局）

昼食・飲み物は各自ご持参下さい。動きやすい服装及び靴（運動靴など）をお願いします。

主催 新潟県越路大地の会／長岡市越路公民館

大地の会 2025(令和7)年度活動予定

令和7年度大地の会 CALENDAR			令和7年度大地の会 CALENDAR		
4月	5月	6月	7月	8月	9月
1火	1木	1日	1火	1金	1月
2水	2金	2月	2水	2土	2火
3木	3土	3火	3木	3日	3水
4金	4日	4水	4金	4月	4木
5土	5月	5木	5土	5火	5金
6日	6火	6金	6日	6水	6土
7月	7水	7土	7月	7木	7日
8火	8木	8日	8火	8金	8月
9水	9金	9月	9水	9土	9火
10木	10土	10火	10木	10日	10水
11金	11日	11水	11金	11月	11木
12土	12月	12木	12土	12火	12金
13日	13火	13金	13日	13水	13土
14月	14水	14土	14月	14木	14日
15火	15木	15日	15火	15金	15月
16水	16金	16月	16水	16土	16火
17木	17土	17火	17木	17日	17水
18金	18日	18水	18金	18月	18木
19土	19月	19木	19土	19火	19金
20日	20火	20金	20日	20水	20土
21月	21水	21土	21月	21木	21日
22火	22木	22日	22火	22金	22月
23水	23金	23月	23水	23土	23火
24木	24土	24火	24木	24日	24水
25金	25月	25水	25金	25月	25木
26土	26火	26木	26土	26火	26金
27日	27水	27金	27日	27木	27土
28月	28木	28土	28月	28火	28日
29火	29金	29日	29火	29金	29月
30水	30土	30月	30水	30土	30火
31木	31火	31日	31木	31日	31火

令和7年度大地の会 CALENDAR			令和7年度大地の会 CALENDAR(令和8年)		
10月	11月	12月	1月	2月	3月
1水	1土	1月	1木	1日	1日
2木	2日	2火	2金	2月	2月
3金	3月	3水	3土	3火	3火
4土	4火	4木	4日	4水	4水
5日	5水	5金	5月	5木	5木
6月	6木	6土	6火	6金	6金
7火	7金	7日	7水	7土	7土
8水	8土	8月	8木	8日	8日
9木	9日	9火	9金	9月	9月
10金	10火	10水	10土	10火	10火
11土	11火	11木	11日	11水	11水
12日	12水	12金	12月	12木	12木
13月	13木	13土	13火	13金	13金
14火	14金	14日	14水	14土	14土
15水	15土	15月	15木	15日	15日
16木	16日	16火	16金	16月	16月
17金	17月	17水	17土	17火	17火
18土	18火	18木	18日	18水	18水
19日	19水	19金	19月	19木	19木
20月	20木	20土	20火	20金	20金
21火	21金	21日	21水	21土	21土
22水	22土	22月	22木	22日	22日
23木	23火	23水	23金	23月	23月
24金	24水	24木	24土	24火	24火
25土	25火	25木	25日	25水	25水
26日	26水	26金	26月	26木	26木
27月	27木	27土	27火	27金	27金
28火	28金	28日	28水	28土	28土
29水	29土	29月	29木	29日	29日
30木	30日	30火	30金	30月	30月
31金	31火	31日	31土	31火	31火

賛助会員紹介

株式会社INPEX JAPAN 長岡鉱場
 朝日酒造株式会社
 有限会社越路地計
 株式会社エコノス
 大原技術株式会社
 高橋調査設計株式会社
 オムニ技研株式会社
 エヌシーイー株式会社 (順不同)

新潟県越路 大地の会会報 おいたち 119 号
 2025.3.20 発行

大地の会連絡先
 〒940-0096 長岡市春日 1-2-10 (佐藤 隆)
 e-mail : koshiji@daichinokai.sakura.ne.jp
 URL : http://daichinokai.sakura.ne.jp/
 問合せ先
 新潟県越路 大地の会
 幹事長 : 佐藤 隆 090-2980-4446