

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 6 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420453

研究課題名(和文)断層変位による表層地盤の変形と構造物被害軽減に関する研究

研究課題名(英文) Deformation of overburden and mitigation of structural damage due to fault displacement

研究代表者

谷山 尚 (Taniyama, Hisashi)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：80236710

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：表層地盤が、横ずれと縦ずれ断層変位をともに受ける場合に、表層地盤内で形成されるせん断帯(地震断層)について調べた。正断層変位に加えて僅かに右横ずれ断層変位を受ける場合は、地表で右ステップのせん断帯が形成される可能性があること、横ずれ断層変位に加えて僅かに逆断層変位を受ける場合は、より狭い領域にせん断帯が形成されるなど、実際に観察された断層と調和的な結果を得た。埋設管が断層変位を受ける場合の変形について調べ、管が地盤から受ける力と、管-地盤間の相対変位の関係を明らかにし、また、地盤の変形が大きくなる領域の端部に大変形を許容するジョイントを設けると管の他の箇所での変形が抑えられることを示した。

研究成果の概要(英文)：The deformation of an overburden subjected to an oblique slip movement was examined. The result showed the possibility of a right step pattern if normal fault displacement with a slight right lateral strike slip fault component was applied to the overburden. When overburden was subjected to a strike slip movement with a slight reverse fault component, large shear deformation and en echelon zones were observed mainly on the footwall side of the overburden in a narrower zone. The analytically obtained width of the high strain zone was comparable to the observed width at the Nojima fault. Response of buried pipeline owing to fault movement was examined by numerical simulation. The results showed relation between force acting on the pipe and pipe-soil relative displacement. Effectiveness of flexible joints on pipe has been examined. The reduction in strains of the pipes is seen more efficient when the flexible joint is placed near the fault activation plane.

研究分野：地震工学

キーワード：断層 埋設管

1. 研究開始当初の背景

内陸の浅いところで地震が起きると、断層変位が地表に現れることによって構造物が被害を受けることがある。特に都市部においては、表層が未固結の堆積物で覆われていることが一般的であるが、そのような場合には、断層が表層地盤底部から地表へと進展する過程で、進展する方向が変わったり分岐したりする場合がある。また、表層地盤の連続的な変形によってすべりの一部または全部が吸収される。断層変位による構造物被害を議論する上で、表層地盤内の断層進展過程やメカニズムを詳細に解明する必要がある。

一方、変位を吸収しやすい地盤材料を利用することで断層変位を小さくしたり、変形を広範囲に分散させることで構造物の被害を軽減できる可能性がある。また、構造物に大きな変形を許容する箇所を設け、地盤の変形や断層変位をそこに集中させることができれば、構造物は被害を免れたり、被害を受けても事後の対策を容易にすることができると思われる。このような観点からの研究は十分になされてきていなかった。

2. 研究の目的

断層変位による構造物被害を、地盤や構造物にどのような対策を施すことでどの程度軽減させることが可能かに関して、以下の4点について解明することを目的として研究を行った。

(1) 地盤特性や断層の動き方によって、表層地盤内の変形や断層進展にどのような影響が及ぶか、すべりの進展メカニズムも含めて明らかにする。

(2) 表層地盤内に構造物が存在する場合には、構造物周辺の地盤の変形や断層変位が構造物によって影響を受けることが予想される。構造物の存在によって、地盤内に生じるひずみ分布やすべりの進展がどのように変化するかに関して、そのメカニズムも含めて明らかにする。

(3) どのような地盤材料を選ぶことによって構造物周辺でどの程度断層変位を減少させることが可能か、また、構造物に対策を施したり構造物とその周囲の地盤の力学特性を適切に組み合わせることで、構造物への影響を低減させたり、あるいは、構造物の特定の箇所に変形を集中させたりして被害を軽減させることが可能かを検討する。

(4) 平行して、想定しているサイトでどの程度の断層変位あるいは地盤のひずみが生じるかを予測し、予想される断層変位による構造物の被害を、どのような方法によってどの程度軽減することが可能かについて明らかにする。

3. 研究の方法

地盤特性や断層の動き方が断層の進展に及ぼす影響を調べるために、種々の地盤材料を用いて模型地盤を作成し、断層の動きを地盤

に加えて、模型地盤の変形、すべりの発達する位置を調べる。地盤の一部を特性の異なる材料で置換することによって、断層変位の進展過程や地盤の変形形状にどのような影響が及ぶか調べる。あわせて、個別要素法を用いて数値シミュレーションを行い、地盤特性や断層の動き方が地盤の変形や地盤内の断層進展に与える影響を調べ、実験と数値解析を通して種々の地盤材料内を断層変位が進展するメカニズムの解明を目指す。

構造物と地盤の相互作用を調べるために、模型地盤中に埋設管など構造物の模型を配して、構造物が断層変位によってどのように変形するか、また、断層変位の進展が構造物模型の存在によってどのように変化するか調べる。地盤や構造物の特性を変えた実験、模型の一部に大きな変形を許容する部材を用いる実験を行って、模型や地盤材料の諸性質が断層変位や地盤の変形に及ぼす影響を把握する。同時に、数値解析を行い、構造物と地盤の相互作用について検討する。これらを通して、断層が構造物の近傍を進展する際に、構造物の変形が小さくなる条件、構造物に対策を施した箇所に適切に地盤の変形が生じて他の箇所の変形が小さくなる条件を調べる。

平行して、断層を仮定して、地表地震断層の出現の有無及びその位置、地盤の変形量の予測を試みる。

研究成果

(1) 表層地盤内を進展する断層変位に関して、断層変位が複雑なプロセスを経て地盤内を進展する斜めずれ断層を対象として検討を加えた。

表層地盤が正断層変位を受けると、地表付近では、基盤断層の上盤側で水平方向の圧縮、下盤側で水平方向の引張りが生じ、表層地盤が横ずれ断層変位を受けると、地表付近では、主に水平面内のせん断変形が生じるが、表層地盤が、正断層成分と横ずれ断層成分をともに含む断層変位を受けた場合は、正断層成分と横ずれ断層成分の割合に応じて応力分布が変化し、それによって形成されるせん断帯も異なってくることを示した。すなわち、地表付近においては、

正断層成分が大きい場合は、上盤側で水平方向の圧縮と横ずれ断層による影響を受けた変形が生じた後、下盤側で水平方向の引張りに横ずれ断層変位による影響をわずかに受けた変形が生じて、基盤の断層の走向方向と非常に低角で交差するせん断帯が形成される。

横ずれ断層成分が大きいと、上盤側で、横ずれ断層の影響とわずかに水平方向の圧縮の影響を受けた変形が生じて、雁行状のせん断帯が形成される。

正断層変位と横ずれ断層変位を同程度受けると、上盤側で水平方向の圧縮と横ずれ断層の影響を受けた変形、下盤側で水平方向の

引張りとわずかに横ずれ断層変位の影響を受けた変形が生じて、どちらにおいても基盤の断層の走向方向と非常に低角で交差するせん断帯が形成され、その間の領域で基盤の断層の走向方向と斜めに交差するせん断帯が形成されることを示した。また、地盤の下部から中部にかけては、非常に高角なせん断帯が形成されるが、正断層成分が大きいと、鉛直方向もしくは下盤側にやや傾いた方向にせん断帯が伸びるのに対し、横ずれ断層成分が大きいと、上盤側にやや傾いた方向に伸びることを示した。さらに、高角な基盤断層上で、正断層変位にわずかな横ずれ断層変位が加わる場合には、内部摩擦角の値などの条件によっては、横ずれ断層変位のみが加えられる場合とは逆ステップのせん断帯が形成される可能性があることを示した。2011年4月11日に起きた福島県浜通の地震では正断層成分に右横ずれ断層成分が加わる断層変位を生じたが、いわき市大久保地区では、右横ずれとは調和しない右ステップの地震断層の雁行パターンが観察された。この右ステップの地震断層が、上述したことに起因する可能性があることを示した。

また、1995年兵庫県南部地震の際に淡路島の野島断層で観察された地震断層を、個別要素法を用いた数値解析によって再現することを試みた。野島断層は、南東側に高角で傾き下がる断層面を持ち、横ずれ成分にわずかに逆断層成分が加わる断層変位を生じたが、数値解析によって、高角な断層上で、横ずれ断層成分にわずかに逆断層成分が加わることで、横ずれ断層変位のみを受ける場合よりもせん断帯が形成される領域が狭まることを示した。その結果、解析で得られたせん断帯の幅は、観測結果とより調和的になった。そして、このような、逆断層成分が加わった際のせん断帯形成領域の狭窄化は、上盤側に位置する粒子から受ける力の方が、下盤側に位置する粒子から受ける力よりも大きいことによって説明できることを明らかにした。さらに、そのような断層変位を受ける地盤の浅部においては、基盤断層の直上付近では、断層直交水平方向の圧縮力が減じて非常に高角度の正断層型のせん断帯が形成されやすい一方で、下盤側では逆断層成分による断層直交水平方向の圧縮が大きくなり、やや低角度の逆断層型のせん断帯が形成されること、両者の中間では横ずれ断層成分による影響が大きくなり、ほぼ鉛直でやや高角度で基盤の断層と交差する横ずれ断層型のせん断帯が形成されることを示した(図1, a, b, c)。また、地盤深部においては、横ずれ断層成分による水平面内のせん断、逆断層成分による鉛直面内のせん断に、下位の粒子から受ける引きずりが加わることによって、基盤の断層と低角度で交差し下盤側に傾斜するせん断帯が形成される(図1, d)ことを示すなど、横ずれ断層変位に加えて逆断層変位を受ける地盤内の、応力分布やせん断帯の形成過程

および形成メカニズムを明らかにした。

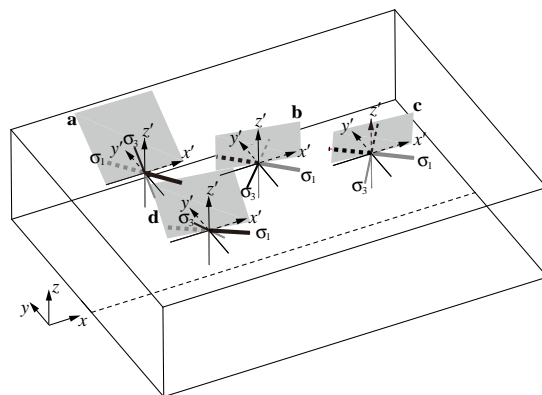


図1 横ずれと逆断層変位を受ける地盤内部での応力分布とせん断帯(底部中央の直線が基盤の断層位置、 $y < 0$ が上盤側。灰色の方形はせん断帯、 σ_1 は最大圧縮主応力方向、 σ_3 は最小圧縮主応力方向を表す。)

(2) 断層変位を受ける埋設管について、管を有限要素法、地盤は個別要素法を用いてモデル化した解析を行い、管が地盤から受ける力と断層変位の関係、管周辺地盤の変形や断層進展に管が及ぼす影響について調べた。その結果、断層変位が管の位置まで進展する過程では管に作用する力が増大する一方で、さらに大きな断層変位を受けると、地盤内部で破壊が進展することによって、管に作用する力は頭打ちから減少に転ずること、管に作用する力は基盤断層の延長上からやや離れたところで最も大きくなることを示した(図2)。

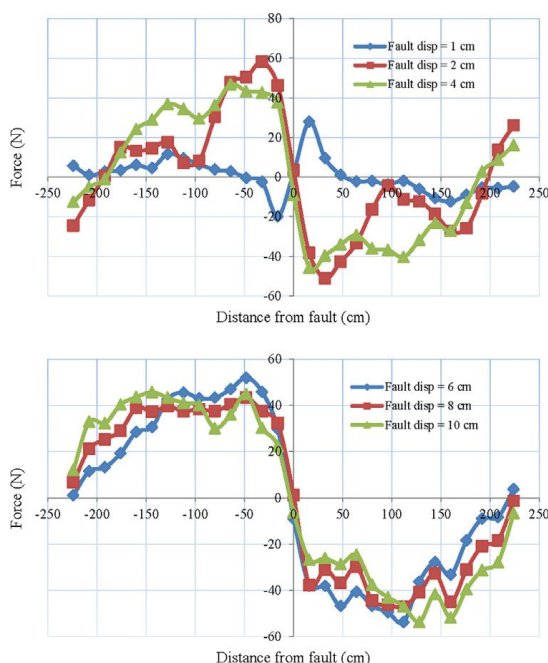
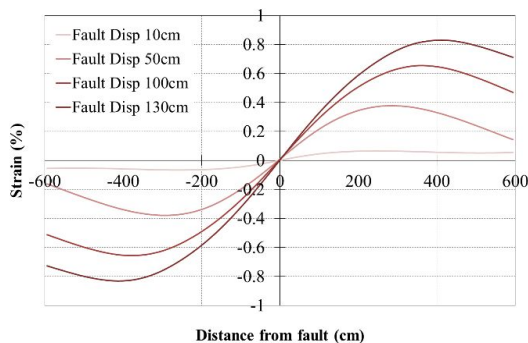


図2 横ずれ断層変位を受ける埋設管が地盤から受ける力(横軸は管軸方向の断層からの相対位置、縦軸は埋設管が地盤から受ける力)

また、管が地盤から受ける力を、管と地盤の相対変位量との関係で示すとともに、管が存在することによって、地盤の変形形状や地盤内部の断層進展パターンが、管が存在しない場合とは変化し、断層変位を受ける埋設管の変形解析の際にしばしば仮定される、断層を境にして地盤が剛体的に移動する変位パターンとは異なることを示した。

これらに加えて、管の一部に大きな変形を許容するジョイントを設けることで、断層変位を受ける管の変形にどのような影響が及ぶか検討した。埋設管がないと断層変位を受ける地盤の変形は、基盤断層の延長上付近に集中して生じるが、その場合に地盤が大きく変形する領域の端部にジョイントを設置すると、管の他の箇所の変形が大きく抑えられること、管本体と比較してジョイント部分が曲がりやすいほど、管本体の変形を抑える効果が期待できることを示した(図3)。

(a)



(b)

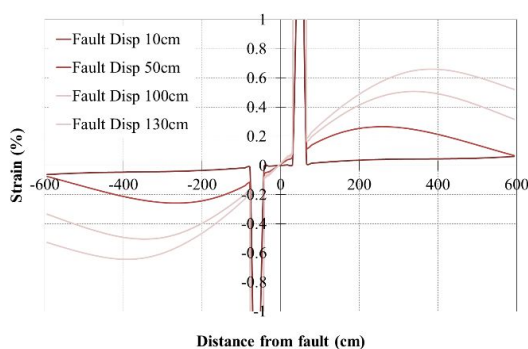


図3 横ずれ断層変位を受ける鋼管のまげひずみ分布。(a)ジョイントを設けない場合、(b)ジョイントを設けた場合(横軸は管軸方向の断層からの相対位置、縦軸は管の曲げひずみ。ジョイントは断層からの距離50cmに設置)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

Hisashi Taniyama, Distinct element analysis of overburden subjected to reverse oblique-fault, Journal of Structural Geology, 査読有, 96, 2017, 90-101

DOI:10.1016/j.jsg.2017.01.007

Md. Aftabar Rahaman, Hisashi Taniyama, Analysis of a buried pipeline subjected to fault displacement: A DEM and FEM study, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 査読有, 71, 2015, 49-62

DOI:10.1016/j.soildyn.2015.01.011

谷山尚, 斜めずれ正断層による未固結表層地盤の変形に関する個別要素法解析, 活断層研究, 査読有, No. 42, 2015, 35-53
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/afr/2015/42/_contents/-char/ja/

[学会発表](計2件)

Kunj Anand Vaidya, Hisashi Taniyama, Effectiveness of flexible joints on underground pipelines acted by strike-slip fault movement, 日本地震工学会, 2015年11月19日, 東京大学生産技術研究所

谷山尚, 表層地盤内の断層変位の進展解析, 非線形解析プログラム研究会, 2014年10月17日, 日本大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

谷山 尚 (TANIYAMA, Hisashi)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号: 80236710

(2)研究分担者

齊藤 正人 (SAITO, Masato)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号: 40334156

(4)研究協力者

RAHMAN, Md. Aftabar

Chittagong University of Engineering & Technology

VAIDYA, Kunj Anand

埼玉大学・理工学研究科・博士前期課程(2016年3月まで)