正断層と基礎の相互作用に関する遠心模型実験

University of Dundee (UK) 学生会員 永岡修一 University of Dundee (UK) 非会員 M. F. Bransby University of Auckland (NZ) 非会員 M. C. R. Davies

1. 研究目的

1999年に相次いで発生した台湾・集集地震やトルコ・コジャエリ地震では、地盤の断層変位に伴い地表面の社会基盤構造物が甚大な被害を生じた。また日本でも、2004年の新潟県中越沖地震において、断層変位によるものと考えられるトンネルの覆エコンクリートの大規模な崩落が生じている。このように、地震により生ずる大規模な断層変位は、断層近傍の社会基盤構造物やライフラインの設計にとって重大な関心事である。しかしながら過去に行われた研究を比較すると、地震動に関するものより格段に少なく、

そのメカニズムなど未解明な部分も多いのが現状である。そこで本研究では、**図-1** に示す遠心力載荷試験装置を用いた断層模型実験を行い、基盤の断層に伴う砂層の変形状況及び断層の伝播メカニズムについて検討を行った。ここで断層とは、断層面にそって上下方向にずれるか水平方向にずれるかの違いにより、まず縦ずれ断層と横ずれ断層に区

分されるが、その縦ずれ断層のうち、上盤が下がる場合を正断層、上盤が上がる場合には逆断層と呼ばれている。本発表は、正断層を対象としている。また、有効応力の違いによる影響を評価するために、遠心模型実験と併せて 1G 場における室内実験を実施し、さらに構造物のモデルとして 4 種類の異なる基礎を砂層表面に設置し、正断層と基礎の相互作用について検討を行った結果について報告する。



2-1 実験に用いた試料及び実験装置

本研究では、粒径の整った Fontainbleau 砂を用いて実験を行った。 Fontainbleau 砂の物理特性は表-1 の通りである。次に、本実験に用いた実験装置を図-2 に示す。模型地盤である砂層は、透明アクリル樹脂製の側壁を有する、遠心力載荷試験装置の試験ボックス内にあらかじめ設置された断層発生装置内に、空中落下法により相対密度 Dr=60%に調整し準備した。模型地盤の寸法は、横幅 684mm、高さ 217mm、奥行き 500mm である。また、模型地盤中に着色層を設けることにより、模型地盤中における断層の伝播状況の観察を可能としている。正断層は、油圧シリンダーに載せた可動式上般を油圧ポンプによって下降させることで発生させ、その傾

動式上盤を油圧ポンプによって下降させることで発生させ、その傾斜角度は 60°と設定した。模型地盤準備完了後、所定の遠心加速度に至った後に、模型地盤換算で約 0.5mm ずつ上盤を下降させ、変位を中断する度にデジタルカメラにより写真を撮り、画像解析を行った。

2-2 実験条件 表-2 に今回の実験条件を示す。模型地盤の寸法の違いは、地盤中に発生する断層の伝播メカニズムに影響を及ぼすと考えられるので、本研究では Testl~4 に示すように、4 パターン(1, 50,

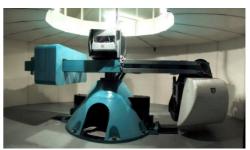


図-1 遠心力載荷試験装置

表-1 Fontainbleau 砂の物理特性

単位体積重量 χ kN/m³	15.57			
有効径 d ₁₀ , mm	0.18			
平均粒径 d ₅₀ , mm	0.24			
最大間隙比 e_{max}	0.83			
最小間隙比 e_{min}	0.55			

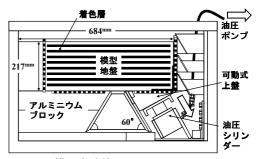
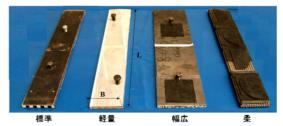


図-2 断層模型実験装置

表-2 実験条件

Test	Test g-		層厚	基礎		
No.	level	D _r , %	H_{soil} , m	種類	位置*	q, kPa
1	1	64.6	0.217	-	1	I
2	50	55.7	10.85	-	-	
3	80	60.7	17.36			
4	115	60.2	24.66			
5	115	62.6	24.56	標準	中央	91
6	115	59.2	24.88	軽量	中央	37
7	115	63.7	24.95	標準	遠端	91
8	115	56.1	24.80	幅広	中央	91
9	115	55.6	24.88	柔	中央	91



B=10.12m(88mm) *1 B=10.12m(88mm) L=56.8m(494mm) L=56.8m(474mm)

B=25.07m(218mm) B=9.43m(82mm) L=57.4m(499mm) L=57.5m(500mm)

**「B (幅), L (奥行き): 実地盤換算値 <()内は模型地盤換算値(実寸法)>

図-3 実験に用いた基礎

80, 115G)の遠心加速度を設定した。模型地盤高さは、いずれの実験においても H_{soil} =217mm 一定条件下にて行われているので、実地盤換算においてはそれぞれ 0.217, 10.85, 17.36, 24.95m である。 次に実験に用いた基礎は図-3 に示す 4 種類であり、標準、軽量及び幅広は剛な基礎である。一方柔な基礎は、鋼棒をゴムシートで巻いたものである。これらの模型基礎を用い、構造物の性質、形状、支持力、断層との相対的な位置関係及び剛性が、断層と基礎の相互作用にいかに影響を及ぼすかを検討するために、Test5-9 の実験条件を設定した。ここで、基礎を用いた実験において、遠心加速度はすべて115G で一定としており、基礎は同一遠心加速度である Test4 における無載荷地盤で発生した断層の地表面出現点と、基礎の中心もしくは遠端が一致するように設置した。

3. 実験結果及び考察

Test1~4 における無載荷地盤での断層模型実験より、遠心加速度が異なるものの、断層発生後の地盤状態はそれぞれ似通っており、大別して2種類の断層が確認できた。 図4に Test4 の実験における、基盤の鉛直変位で 2.75m(実地盤換算)の断層を生じさせた模型地盤の様子を示す。まず最初に、比較的基盤に対して鉛直な断層(初期断層)が、基盤表面の断層発生点から模型地盤表面に向かって伝播していることが分かる。初期断層は模型地盤中央部まで伝播した後不活発となり、その後ほぼ直線的な断層(主断層)が断層発生点から模型地盤表面に到達し、下盤としているによってまたで、形式していることが分かる。

上盤の間に不連続面を形成していることが分かる。またこの主 断層は、Test4 の場合、基盤の断層傾斜角 60°よりさらに 8°傾い ていることが分かった。

遠心加速度の違いによる影響を評価するために、IG 場及び 115G 場における初期断層及び主断層の形状を**図-5** に示す。わず かな差異はあるものの、主断層の伝播状況はほぼ一致しており、その傾斜角は基盤の断層傾斜角より大きな値を示している。この理由として、基盤の断層変位に伴うダイラタンシーによるも のであろうと考えられる。一方初期断層の傾斜角には遠心加速 度の違いによる影響がみられ、IG 場のほうが 115G 場の場合より大きい傾斜角を示している。

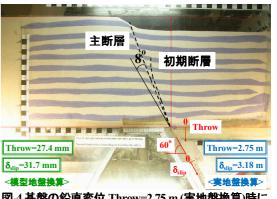


図-4 基盤の鉛直変位 Throw=2.75 m (実地盤換算)時に おける模型地盤 (Test4, 115G)

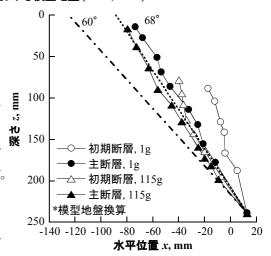


図-5 初期断層及び主断層の形状の比較 (1G, 115G)

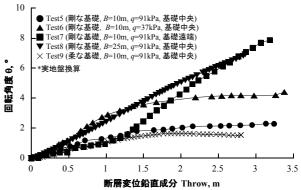


図-6 基盤の断層変位に伴う基礎の回転角

次に、正断層と基礎の相互作用の評価として、基盤の断層変位に伴う基礎の回転角の違いを**図-6** に示す。図からわかるように、その相互作用はかなり複雑なものであると言えるが、その作用は今回設定したパラメータである構造物の性質、形状、支持力、断層との相対的な位置関係及び剛性に依存するということが分かる。加えて、模型地盤表面に基礎が存在することで、断層は無載荷地盤時(Test4)より変状することが分かった。その理由として、基礎の存在に伴う地盤中の応力状態の変化や、基礎の移動に関する付加的な働きなどが考えられる。

4. まとめ

遠心力載荷試験装置を用いた断層模型実験により、基盤の断層に伴う砂層の変形状況及び断層の伝播メカニズムを把握することができた。次に、遠心加速度を変化させた実験により、初期断層はその影響を受けるものの、主断層の伝播状況はほぼ一様であることが示された。また、基礎と断層の相互関係は、基礎の性質、形状、支持力、断層との相対的な位置関係及び剛性に依存するということが示された。