

トルコ東部ビンギョル地震の特徴と課題

アイダン・オメル¹

¹ 東海大学海洋学部海洋建設工学科

2003年5月1日午前3時27分頃、トルコの東アナドル地域のビンギョル県でマグニチュード Mw=6.4の地震が発生し、学校の寄宿舎などが崩壊し、多くの生徒が生き埋めになるなどの被害が発生した。この地震による死者は176人、負傷者は520人である。被害の集中したビンギョル市では、このうちの70人の死者と371人の負傷者を数えている。土木学会・地震工学委員会および地震被害調査小委員会はトルコ・ビンギョル地震被害に関する調査団を派遣した。調査団は宮島昌克、Ömer AYDANとトルコHacettepe大学のProf. Reşat ULUSAYで構成された。ここでは、この地震による被害および地震動の特徴について報告し、その教訓と課題について述べる。

1. 序論

トルコの東アナドル地域で2003年5月1日午前3時27分頃 (TS)、ビンギョル県でマグニチュード Mw=6.4の地震が発生した。この地震でÇeltiksuyu学校の寄宿舎が崩壊し、90名の生徒が生き埋めになるなどの被害が発生した。この地震による死者は176人、負傷者は520人である。この地域に約32年 (1971年) 前にM=7.1の地震が発生し、その教訓を受け、ビンギョル市は地盤条件が良い地域に再建された。しかし、この地震によってビンギョル市で大きな被害が見受けられ、死者は70人と負傷者は371人であった。

土木学会・地震工学委員会および地震被害調査小委員会はトルコ・ビンギョル地震被害に関する日本から金沢大学の宮島昌克、東海大学のÖmer AYDANとトルコHacettepe大学のProf. Reşat ULUSAYで構成される調査団を派遣した。本論分でこの地震による被害、地震動およびHanoçayırıで発生した地盤の流動の特徴について報告し、1971年の地震と2003年の地震の教訓と課題について述べる。

2. 地質・地盤とテクトニクス

ビンギョル県はトルコの東アナドル地域に位置し、標高が高い山々と深い谷で形成されている台地である。過去の活発な火山活動による玄武岩と安山岩は基盤として存在し、その上層は火山堆積物である。台地は固い粘土質堆積層に様々な大きさの玉石が混ざっている地盤からなっている。また、地震後に行われたボーリング調査から、シルトと砂の互層の存在も確認されている。ビンギョル高

校地点を除いて地下水位は確認されていない。周辺の井戸などから、地下水位は深さ55m~60mと推測されている。ビンギョル市から南、あるいは南東方向には礫、砂、シルト、粘土からなる沖積平野が広がっている。

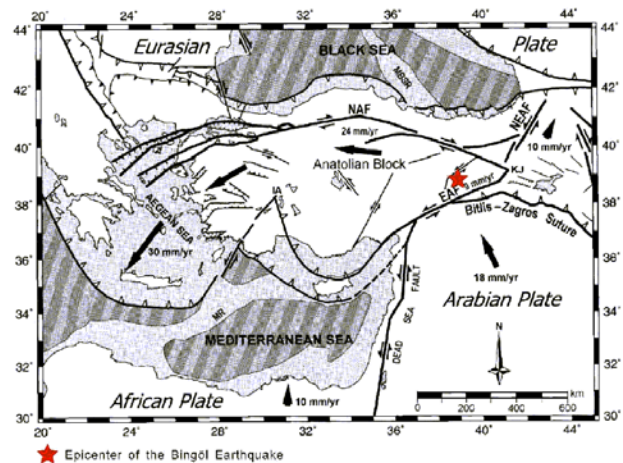


図-1: トルコのテクトニクスと地震の位置

トルコのテクトニクスは南から北上するアフリカ、アラビアプレートと静止しているユーロアジアプレートに挟まれたアナドルプレートの西方向の移動と半時計周りの回転に支配され、その運動は東アナドル断層、北アナドル断層およびエゲ地域の正断層で吸収されている。ビンギョル地震は東アナドル断層と北アナドル断層に囲まれた地域で両断層から離れた位置で発生した。この地域に中小の左あるいは右横ずれ活断層が数多く存在し、Aydan法を用いて条線より推定される地震発生機構を図-2に示す。

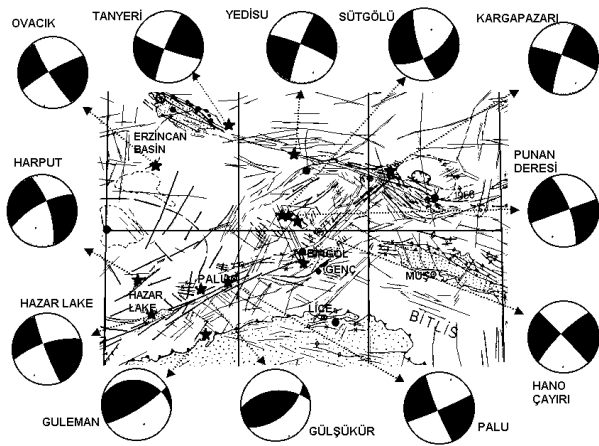


図-2：断層条線より推定した地震発生機構

3. 地震と地震動

本震は2003年5月1日午前3時27分頃に発生した。トルコの様々な機関と他の国の機関によって地震の主なパラメータが決定されたが、それぞれの機関が推定した震央位置はビンギョル市の北西部にばらついている。それらを表-1と図-3に示す。図-2におけるHanoçayırıの機構は、Hanoçayırıの断層トレンチで計測したデータに基づいて推定した地震発生機構である。その結果はHARVARD大学が求めた機構とほぼ同様である。

表-1：各機関による地震の主なパラメータ

Institute	LAT	Lon	Depth (km)	M	Strike	Dip	Slip
KOERI	39.01	40.49	10	$M_s=6.4$	NP1 225	90	28
					NP2 135	62	180
ERD	38.94	40.51	6	$M_d=6.1$	-	-	-
USGS	38.99	40.46	10	$M_w=6.4$	NP1 64	88	0
					NP2 154	90	-178

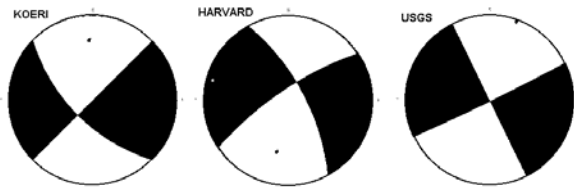


図-3：各機関によって求めた地震発生機構

この地震はトルコのDAD-ERD(トルコ地震研究所)によって運営されている強震観測網で記録が取られており、震源域近くのBingol (BNG)、Elazig (ELZ)、Tercan (TER)、Erzincan (ERC) などでも記録が得られた。これらの記録の最大加速度と震央距離を表-2に示す。最も大きな最大加速度が得られたのはビンギョル市内の観測点であり、1階建ての建物の直接基礎の上に設置されたGRS-16タイプの加速度計で得られたものである。4階建ての建物が隣接しており、この記録にこれらの建物の振動の影響が含まれているかについては今後検討する必要がある。

表-2：得られた最大加速度と震央距離

Station name	Acceleration (gal)			Distance to epicenter (km)
	N-S	E-W	UD	
BNG	545.53	276.82	472.26	14
ELZ	8.00	7.00	5.00	120
TER	5.10	10.30	4.30	86
ERC	8.34	7.50	4.11	112

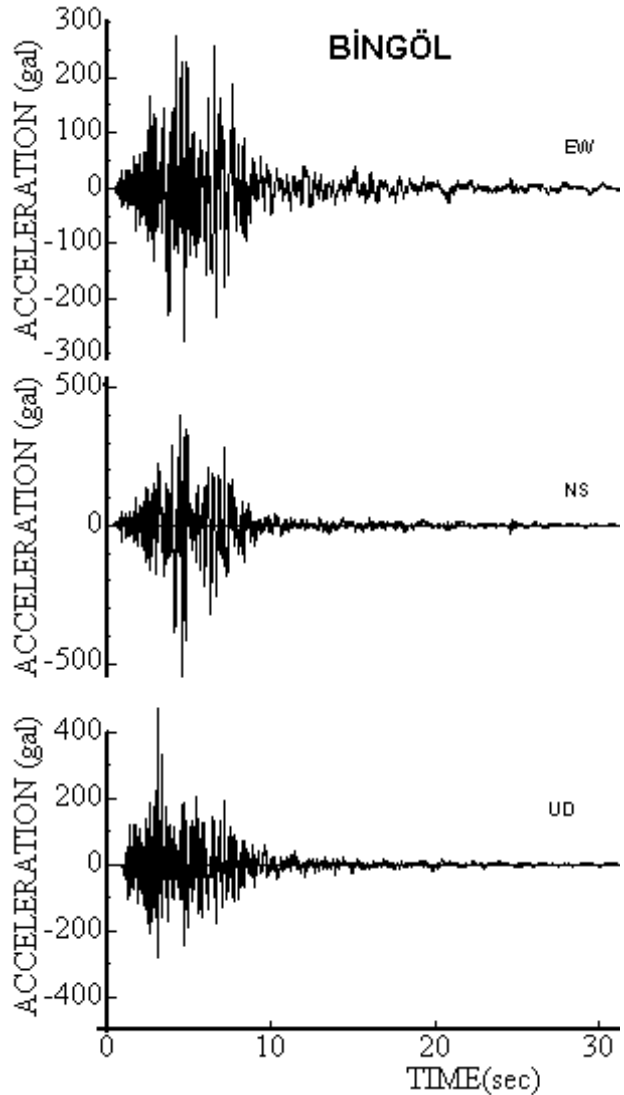


図-4：ビンギョル市で得られた強震記録

図-4に3方向の加速度記録を示す。同図によれば上下成分の加速度も大きく、主要動の継続時間が約10秒と短い。これらは震源近傍の加速度記録の特徴であると考えられる。図-5に、減衰定数2.5, 5%の加速度応答スペクトルを示す。NS方向の成分では約0.15秒に、EW方向の成分では0.09秒あたりにピークがあり、卓越振動数の高いことを示している。また、上下成分も約0.07秒で卓越している。トルコの一般的な建物においては2、3階建ての建物の固有周期に近いので、これらの建物に大きな震動をもたらしたことが推測される。

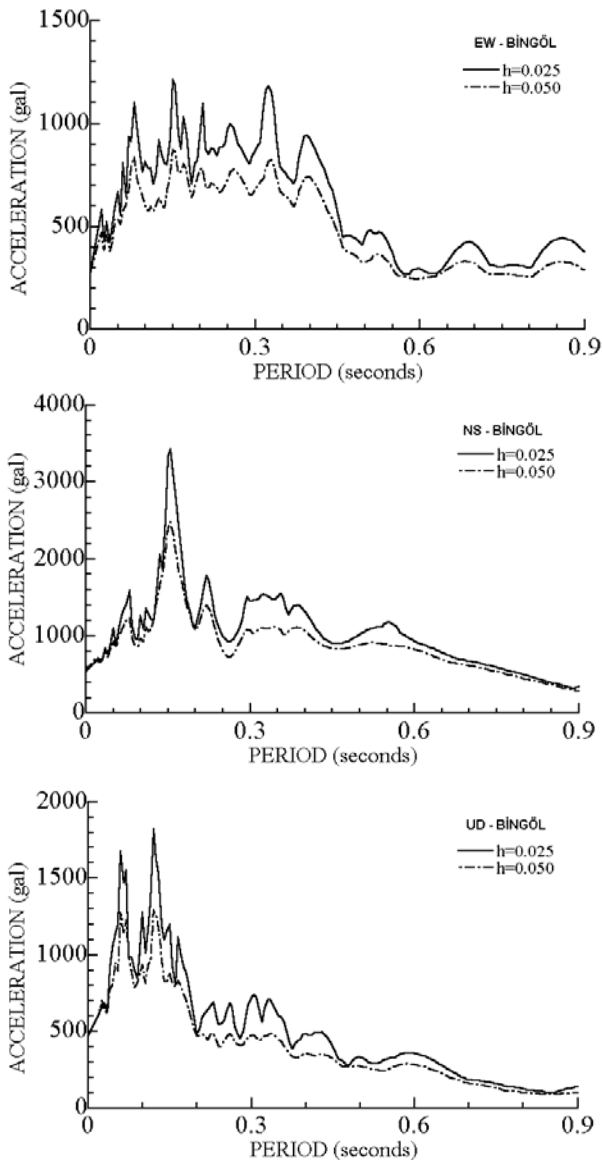


図-5：ビンギョルにおける加速度応答スペクトル



写真-1：ハイウェイにおける斜面崩壊

3 斜面の崩壊と落石

丘陵地においては斜面崩壊や落石が見られた。ビンギョル市近傍で見られたハイウェイにおける斜面崩壊を写真-1に示す。風化の進んだ火山堆積物による斜面流動が主なものであるが、それらによ

る人的被害は生じていない。切り土斜面や山間部の村において落石が見られた（写真-2）。



写真-2：道路を直撃した落石

4. 地盤の液状化とその流動

地盤の液状化は限られた地域にしか見られなかった。その1つは寄宿舎の倒壊が生じたÇeltiksuyu付近のGöynük suyu川の近くである。震源からは約15km離れている。畑の中に写真-3に示す大きな噴砂が生じた。1971年の地震でもこの場所は液状化していた。また、地表面断層と思われる小さな亀裂の見つかった場所の小川付近でも小さな噴砂が見つかったが、粘土質なシルトを含んだものであった。



写真-3：Göynük suyu川の近くの噴砂孔

Hanoçayıでは、地盤の液状化に伴う側方流動が生じた。写真-4に示すように緩い傾斜地が幅35m、長さ約600mにわたり流動変形していた。最上部は円弧滑りの様相を示しており（写真-4）、表層から1.5mまでには砂層は見られないが、流動した部分には砂が含まれていた。この場所で深さが6mのボーリングを流動した部分の最上部と中心部で実施した。その内、ボーリングH-2（中心部）に対する結果を図-6に示す。また、採集した試料に対するせん断試験と透水試験を実施し、粒度分布と物理定数をもとめた。ボーリング結果より深さ5mまで風化した凝灰岩による砂層で構成され、その下は凝

灰岩であった。砂層のN値は2と8の間に变化した。採集した試料の粒度分布を図-7に示す。粒度分布より流動した地盤が液状化しやすいものであったことがわかる。流動した地盤の比重は2.2と2.4の間に变化し、細粒分は7-12%であった。乾燥した資料を0.25 mm/minのせん断変位速度で一面せん断試験を実施し、摩擦角は 42° — 44° であることが明らかになった。



写真-4：Hanoçayırıで液状化に伴う側方流動

Borehole: H-2

(Hano Çayırı lateral spreading site)

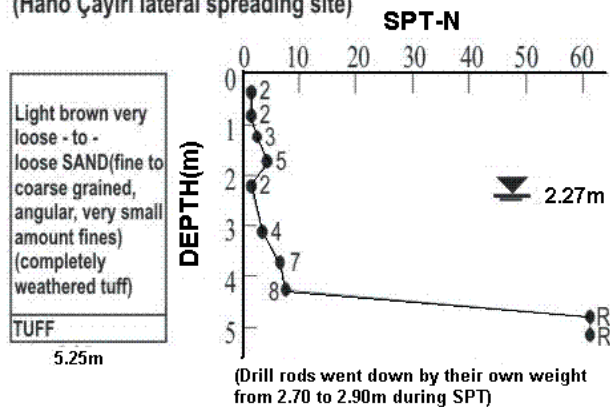


図-6: ボーリングH-2 (中心部) に対する調査結果

ボーリングより得られたN値についてYoudらの手法を用いて液状化判定解析を実施した。解析結果より、地盤が液状化するための加速度の値は193-200galとしてもとめられた。Hanoçayırıは震源真上であることと地震断層のすぐ近傍であったことが地盤の液状化するための条件を満たしたと思われる。

る。幸いなことにこの流動範囲には構造物はなく、この流動による構造物被害は生じていない。

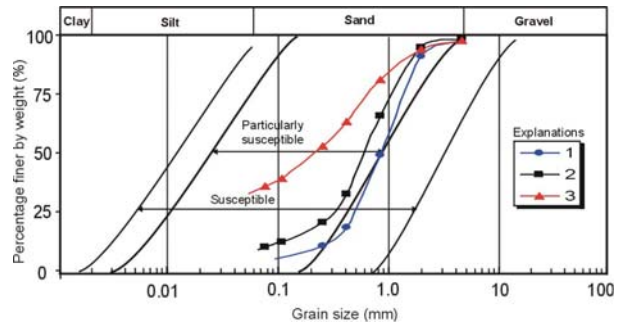


図-7：採集した試料の粒度分布

5. 道路・橋梁・ダム被害

前述したような急傾斜の道路切り土斜面の崩落や落石によって一部の道路が一時的に不通になったが、すぐに土砂が取り除かれ、大きな影響はなかった。橋梁については、ビンギョル市近くのハイウェイに架かる道路橋(ゲルバー型)で若干の被害が生じたが、ほとんどが健全であった。地震被害地域にいくつかのダムがあったが、被害は報告されていない。



Çeltiksuyu



写真-5：校舎の被害状況

6. 建築物の被害

学校の校舎の全壊がいくつも見られた(写真-5)。写真-5は倒壊した寄宿舎に併設されている校舎の被害状況も示している。校舎の被害は建設場所に関わらず、全てこの写真のように1階の柱の破壊に起因している。ボーリング調査結果より地盤の影響よりも構造的な欠陥が被害の大きな要因であったことが判明した。被害の統計としては、ビンギョル市の総建物数12,743棟中、約10%が大破、約20%が中破、約38%が小破であった。また、周辺の村においては総数6,591棟中、約31%が大破、約10%が中破、約35%が小破であった。ビンギョル市においては台地の縁部に大破の建物が集中しているように見られた(写真-6、図-8)。被害要因の

一つは台地の地形であり、図-9に示すように一般的に台地の地形に依存して、特に台地の縁部で地震動は増幅される。また、台地の縁部の斜面が塑性化に伴い永久変形が発生し、局所的に亀裂も発生した。これらの要因によって、ビンギョル市においては台地の縁部に大破の建物が集中したと思われる。



(a) 平面図



(a) A-A 断面図

図-8：ビンギョル市における大破の建物の分布

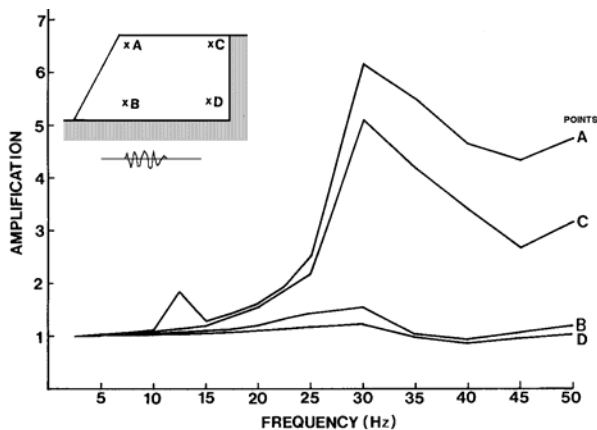


図-9：台地の縁部で地震動に対する模型実験結果

7. 結論

本論分でこの地震による被害、地震動およびHanoçayırıで発生した地盤の流動の特徴について報告した。ビンギョル市は1971年の地震の教訓を受

け、地盤条件が良いと考えられた台地に移動と再建されたが、2003年の地震で台地の地形的な影響による地震動の増幅と急傾斜の斜面の永久変形や亀裂などによって建築物の大きな被害が発生した。構造的な欠陥（弱階、柱とはりの結合部が不良施工等）が建築物の被害の大きな要因のもう一つである。Hanoçayırıは震源真上であることと地震断層のすぐ近傍であったことが地盤の液状化するための条件を満たし、まれに見る地盤の流動が発生した。幸いなことにこの流動範囲には構造物はなく、この流動による構造物被害は生じていない。



写真-6ビンギョル市における台地の縁部で大破の建物

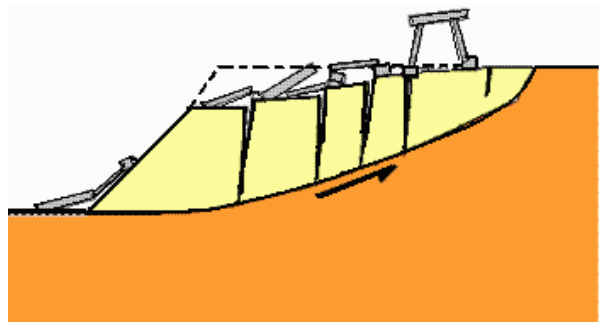


図-10：台地の縁部の斜面が塑性化に伴い永久変形と局所的な亀裂の発生状況

謝辞

調査団派遣にあたり、土木学会災害緊急部門、地震工学委員会、地震被害調査小委員会の関係の皆

様大変ご尽力いただきました。ここに記して感謝申し上げます。また、調査団の金沢大学の宮島先生、Hacettepe大学のR.Ulusay先生に感謝申し上げます。トルコ地震財団会長Prof. Dr. Rifat YARARには現地調査で便宜を図っていただきました。Firat大学の学長はじめスタッフの皆様には、ゲストハウスを提供して頂くと共に、有益な情報を頂き、厚く感謝申し上げます。

参考文献

- Aydan Ö. Ulusay R. Miyajima M. (2003). The Bingöl Earthquake of May 1, 2003. Report of E.E. Committee of Japan Society of Civil Engineers; <http://www.jsce.org.jp/report/19/frame.html>.
- Aydan, Ö., Kumsar, H. and Ulusay, R. (2001): How to infer the possible mechanism and characteristics of earthquakes from the strations and ground surface traces of existing faults. Seismic Fault Induced Failures, January, Japan, pp 153-162, 2001.
- DAD-ERD. <http://www.deprem.gov.tr.2003>
- Emre, Ö., Herece, E., Doğan, A., Parlak, O., Özaksoy, V., Çıplak, R ve Özalp, S., (2003). 1 Mays 2003 Bingöl Depremi. (unpublished report). <http://www.mta.gov.tr/Bingol/Bingol.asp>.
- HARVARD (2001): <http://www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/>

- ~cmt/ HARVARD/
KOERI (2003). Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. "Bingöl earthquake"
<http://www.koeri.boun.edu.tr/>.
- Japan Port Harbor Research Institute, (1997). Handbook on Liquefaction Remediation of Reclaimed Land. A.A. Balkema, Rotterdam, 312 p.
- Seymen I. Aydın A. (1972).Bingöl deprem fayı ve bunun Kuzey Anadolu Fay Zonu ile ilişkisi. MTA Dergisi. 1972; 79: 1-8 (in Turkish).
- Ulusay, R. and Aydan, Ö. (2005): Characteristics and geo-engineering aspects of the 2003 Bingöl (Turkey) earthquake. J. Geodynamics, 40, 334-346.
- USGS: <http://neic.usgs.gov/neis/eqhaz/>, 2001
- Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.E., Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B., and Stokoe, K.H., 2001. Liquefaction resistance of soils: Summary report from the 1996 NCEER/NSE workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 127(4), 817-833.

THE CHARACTERISTICS OF THE 2003 BİNGÖL (TURKEY) EARTHQUAKE AND SOME ISSUES

Ömer AYDAN¹

¹Department of Marine Civil Engineering, Tokai University, Shimizu

An earthquake with a magnitude of 6.4 (M_w) occurred on May 1, 2003 in Bingöl province of the East Anatolian Region of Turkey. This earthquake was officially called *Bingöl Earthquake* and felt at neighboring cities. This province was also hit by an earthquake, which occurred in 1971 and caused heavy damages and loss of life particularly in Bingöl. The earthquake caused the loss of 176 lives and 520 people were injured. A total of about 570 buildings collapsed and 6000 building suffered some structural damage. The earthquake triggered landslides, earth flows and rock falls, and very limited number of liquefaction-induced lateral spreading also occurred. Site observations and information gathered during investigations and some preliminary assessments made on different aspects of the May 1, 2003 Bingöl earthquake were described. The following conclusions are drawn from this study. The earthquake originated at a shallow depth and caused by a right-lateral strike fault, probably Sudüğünü fault. No structural damage associated with surface rupture was encountered. Based on the acceleration spectra and natural periods of the structures in Turkey, it can be concluded that buildings with 3-4 stories in Bingöl should be subjected to severe shaking. Amplification at the cliff sides due to topographical effects played an important role on damages. Heavy rains before the earthquake are considered to contribute to softening of the materials and made easy some failures to transform into mudflows. Since limited number of liquefaction-induced failures occurred in rural areas, they didn't cause any structural damage. However, one of these is a very important case, because it occurred in weathered tuffs and the liquefied ground flowed for a considerable distance from its source area.