北イタリア(フリウリ)地震による被害調査

伯野元彦
正会員 工博 東京大学助教授 地震研究所

土岐憲三
正会員 工博 京都大学助教授 防災研究所



Motohiko Hakuno



Kenzo Toki

はじめに

1976 年5月6日夜9時0分ころイタリア北部のオーストリアとユーゴスラビア両国との国境に近いフリウリ地方に地震が発生し，多大の被害を生じた．この地震による死者は約 1 000 名に達して，5万人が家を失い，7万人がテント生活を余儀なくされるに至った．中でも，Osoppo, Venzone, Gemona などでは家屋の 70～80% が崩壊してまさに廃墟と化し，これらの町や村では兵士や警官の姿が見られるのみであった．

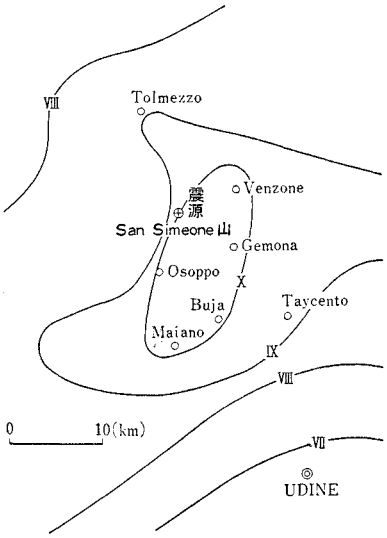
被害の著しい地域でのメルカリ震度階は 10 に達しており，これはわが国の気象庁震度階では震度6の烈震に相当する．被害を受けたのは東西 80 km，南北 60 km 程度の区域であり，特に Osoppo を中心とする東西約 40 km，南北 20 km の範囲での家屋の被害が著しく，余震分布もほぼこの領域内に含まれている．被害総額は約 4 000 億円と推定されており，家屋をなくした被災者には9月末を目標にしてプレハブ住宅を支給する計画が立てられ，総額 110 億円が計上されている．

被災した地域はアルプス南麓の急峻な山地が緩やかなベネチア平野へと急に開ける地帯にある．ここは現在のイタリアとして統一される前はベネチア共和国であり，それ以前はオーストリア領であった．そのため，言語も一般人はフリウラーノという特殊な言葉を使用していることが多く，新聞もイタリア語とフリウリ語の二種が販売されている．また，貨幣もこの州独自のものも発行されており，この貨幣は他州では使用できない．また，ここは 11～14 世紀ころの石造建物も散在する風光明媚な所であるが，北イタリア地方としては比較的後進地域でもあることから，近代建築や構造物施設を多数擁するような大都市はない．したがって，わが国の近代都市における地震防災対策に関しての直接的な資料を提供するものではないが，典型的な直下型の地震であることから，それによる被害状況を観察調査することにより，今後の構造物施設の耐震性や地震災害軽減のための教訓が得られるものと期待され，筆者らのほかに和泉正哲（東北大学，建築構造学），徳山明（静岡大学，地質学）の両氏とともに，現地において約1週間の調査を行った．以下に，その概要について報告する．

1. 地震および地質

(1) 諸　元

本震の諸元は次のとおり．
発震時刻：1976 年5月6日午後9時 24 秒
マグニチュード(M)：6.5 (USGS)



(メルカリ震度階)

図—1 地震震度分布

震　央：Gemona 町西北 San Simeone 山麓
震源深さ：不明

(2) 前　震

今回の地震で注目されることは，本震の起こる1分6秒前にかなり強い前震があったということであろう．

この前震も強震計により記録が得られている（図—2参照）．この前震のため，多数の人が家から外へ出たため，本震による犠牲者が少なくてすんだとのことである．

(3) 発光現象

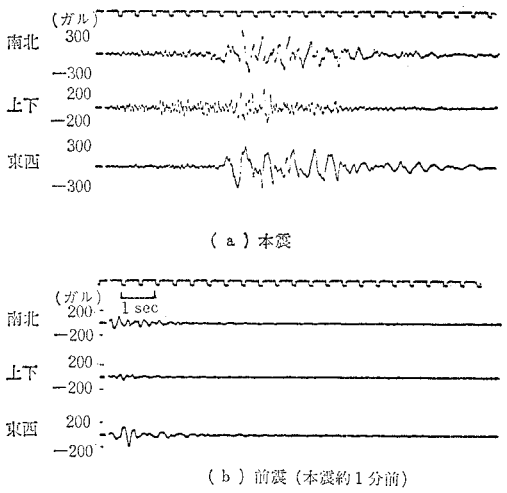
日本でも多くの地震で発光現象が認められているが，今回のイタリアの地震でも，震害の最もひどい区域からやや離れた場所で，地震の最中から後にかけて周辺の山が赤く見えたとか，空が明るくなって本が読めるくらいだったとかいうことを現地の人びとから聞いた．震害の非常にひどいところの人びとは，この現象を認めていないが，これは，建物が壊れる土煙で，あたりはほとんど何も見えなかったという人が大部分だったので，そのためもあって認められていないのかもしれない．

(4) 地震の強さ分布

現地の調査によるメルカリ震度階は図—1のようである．

(5) 強震記録

今回の地震の強震記録は，震度のひどい区域のはずれから約 10 km 北の Tolmezzo において得られた．図—2 がその記録を示しているが，最大加速度は水平 390 ガル・上下 310 ガル，継続時間は 5～7 秒の衝撃的な地震であったことがわかる．ただ被害地での話では1分近くも継続したとのことであったので，恐怖心からそのように感じられたのか，強震記録の得られた町 Tolmezzo は全く山中であり岩盤上の記録といってもよいので，被害地のようなかなりの堆積表面層上では，基盤から短時間の地震が入射しても多重反射の現象によって，軟らかい表面層にいったん入った地震エネルギーは，硬い基盤である岩盤中にはなかなか逃げないので，沖積層上では継続時間がのびたのではないかとも思われる．図—2 (b) は本震の約1分前に起こった前震の記録であるが，これは最大水平加速度 190 ガル，継続時間約1秒という全くパルス的なショックである．



(震源距離 10 km)

図—2 強震記録

(6) 地　質

この地方は，すぐ北がアルプスであって，断層はアルプスに平行に東西方向に4本ほどが走っている．そして地質としては，アルプス本体の三畳系等のドロマイト，その南に白亜系フリッシュ，その南に新第三系のモラッセ型礫岩と続いている．今回の地震は，被害地の亀裂等から，これらの大断層1本がはっきり動いたというものではなく，約 N 20°E の左横ずれ性の断層または節理，それと直交する N 70°W の右横ずれ性の断層または節理が，多少とも運動をして地震が起こったのではないかと言われている．

2. 建築物の被害

この地方の建物は，一般民家の古いものは石造が主でれんが造も多い．もちろん無筋で，れんがは新しい家で



(Majano)

写真—1　同形式のものが崩壊したRCアパート

は，中空のホロー・ブロックが多く用いられている．

新しいアパート，商店などは鉄筋コンクリート造も多い．地震の被害は，やはり，石造，れんが造がひどく，完全に倒壊しているものは，ほとんどこの種の建物である．ただ，Majano 市ではＲＣ造6階建のアパートが倒壊し，80 名が下敷きとなり死亡したと言われている．

写真—1 は，倒壊したのとほぼ同一の同設計者によるＲＣアパートであるが，これは倒壊を免れたものの1階のピロティー部分の柱はいずれも端部が曲げ破壊しており，かなりの被害である．このほかにもＲＣ造は多かったが，いずれも日本のそれに比べて柱の太さが細く，われわれといっしょに調査を行った和泉正哲教授は明らかに耐力不足であると言っておられた．

3．被害の分布

主として建物から見た被害分布は，**図—3** に示すように，東西 40 km，南北 20 km くらいの範囲に及んでおり，特にひどい町村の立地条件は，次の2つに分類されると思われる．すなわち，

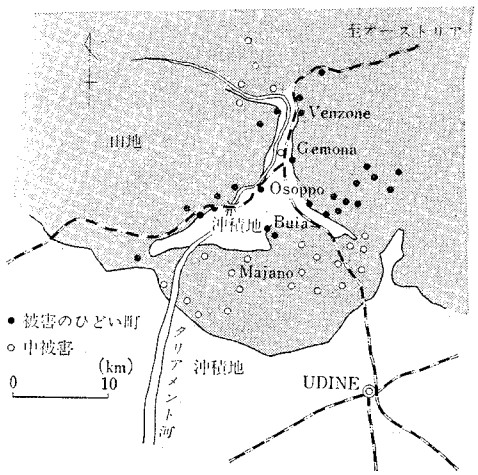
① Tagliamento 河によってつくられた扇状地のうち，山沿いの地域（この中には，特に被害のひどかった Venzone, Gemona Osoppo が含まれている）

② 山間部落のうち，特に崖に近かったり，急峻な丘の上にあったりするもの．

（1） ケース・スタディー

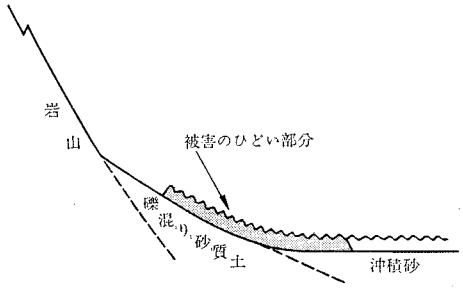
a) Gemona の場合

Gemona は **図—4** に示すように，急傾斜の山から，河



図—3　被害分布と地盤の関係

川により運ばれた礫混じりの土砂が傾斜して堆積した部分に町の約半分がのっており，あとの半分はその傾斜地に接して水平の沖積地があるが，その部分にのっている．



図—4　Gemona 町の地盤地形略図

この町の被害激甚な地区は古い建物の集まっている町役場付近に集中したのはもちろんであるが，その地域も含めて傾斜堆積地およびその付近の被害が著しかった．

b) Osoppo の場合

Osoppo の町は Gemona の町から数 km 南にあり，Taglimento 河に接して形成されているが，その東側は町の地盤高から約 50 m の高さの岩山に接しており，西側も約 20 m の丘の上に一部接している．この町の被害のひどいところは，ほぼ100％倒壊しており，その区画は，まさに東西から丘にはさまれた区域であった．地盤は河の堆積地なので，そう厚くはないにしても砂質である．この区域を離れると急速に被害は軽減される．なお材質もよいためもあってか，被害のひどい区域から，たかだか数十 m 離れただけで，亀裂一つ見い出し得ない家屋，鉄筋アパートもあった．

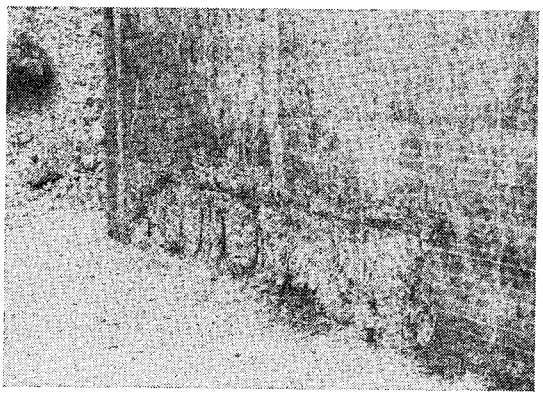
4．橋梁の被害

この地震により多大な被害を生じた地域では，オース

トリアへ通じる高速道路を建設中であり，そのうちの橋梁や盛土部分に損傷を受けた．震源は図—1に示されているように Simeone 山とされているが，ここから 10 km 以内にある三地点で橋梁を建設中であったが，いずれも損傷を受けている．第一の地点である Alesso はトンネルを出た道路が Cavazzo 湖上をかすめて峠に至る所にあり，非常に高い橋脚が片側車線だけ工事中であった．第二の地点は Cavazzo 湖の南方数 km の Trasaghis であり，運河をまたぐ橋梁の桁を架設中であった．第三の架橋地点は Trasaghis からその南方の Osoppo に向けて Tagliamento 河を渡る地点であり，舗装その他の仕上げを残すのみの完成直前の橋梁である．橋梁名は未詳なので，上記の地点名を用いて各橋梁の被害状況について述べる．

（1） Alesso

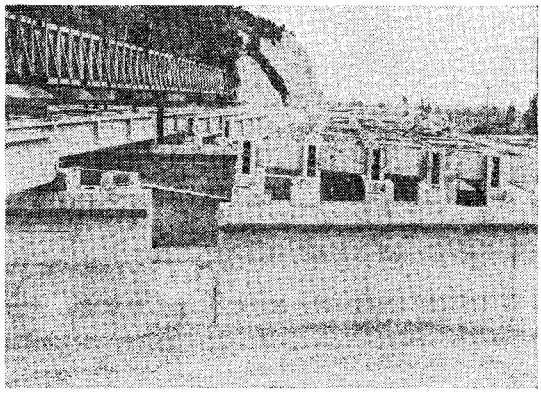
ここでは，片側車線の橋脚 11 脚が完成している．これらの中で最も高い橋脚の高さは約 33 m であり，橋脚断面は中空箱形断面である．また，基礎は φ120 cm，深さ約 28 m のベノト杭 20 本を持つ杭基礎であり，地盤は一部に砂層をはさむが礫が主体の地盤である．ここは震央にきわめて近い所であるが橋脚が倒壊するような被害はなく，唯一の被害は**写真—2**に示すように最も高い橋脚の下端でコンクリートのはげ落ちで鉄筋が露出するに至ったことである．被害としては軽微であるが，その損傷状態からみて地震中にはこの橋脚には相当な振動を生じたであろうことが推察される．橋脚の高さの変化が大きいことから，各橋脚相互の振動特性には差があることが考えられ，もしも桁などの上部構造が完成していたならば，その構造様式によっては被害はさらに増大したかも知れない．



(Alesso)
写真—2 建設中の橋脚の損傷

（2） Trasaghis

ここの橋梁は運河にかかっており，3スパンのI型断面PC桁が，片側車線につき6主桁並列の単純桁橋である．この橋梁では地震により**写真—3**に見るごとく，手前の7桁がいずれも中央部より折れて落下した．落下した桁では，いずれも隣の主桁とつなぐ横桁を打設する前の状態であったことと桁のほぼ中央部において上側フランジの鉄筋が引張り破断していることが折れて落下した桁を調べてわかった．



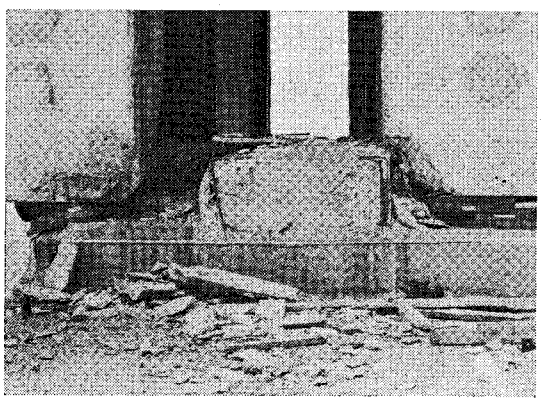
(Trasaghis)
写真—3 桁が落下した橋梁

（3） Osoppo

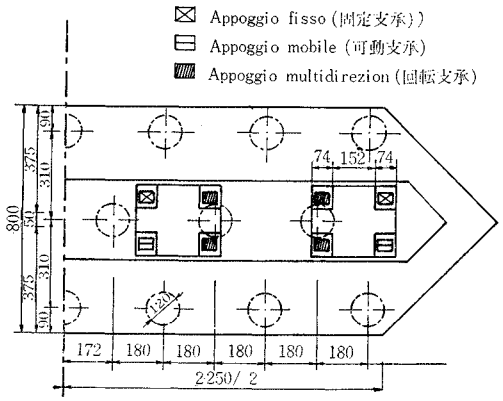
今回の地震により住居の 90% が壊滅的な被害を受けた Osoppo と，Tagliamento 河をはさんで対岸の Trasaghis を結ぶ橋梁も多大の損傷を受けた．この橋梁はI型断面 PC 桁4桁で片側車線の主桁を構成し，支間長 45 m，28 連の単純桁橋である．この橋梁では桁が落下するというような被害は生じなかったが，支承においてはいずれの橋脚でも**写真—4**に見られるような損傷を生じている．各橋脚の上端の橋座には十文字形のRCの台座がある．平面図形は**図—5**に示されており，その高さは 40 cm である．この台座の橋軸方向の辺を 2 本の主桁ではさみ，それをつなぎばりで結ぶ構造であり，橋軸方向への移動の余裕量は約 10 cm である．支承の形式は3種類であるが，いずれも円柱面を持つ支承板支承であり，その配置は**図—5**に示されている．これらの支承板支承の移動量のうち測定し得た値の最大値は約 18 cm であり，多くは破損して原形をとどめていない．これは支承の種類によらず同じであり，支承の破損により桁が台座と衝突を繰り返した結果，台座と桁端がともにコンクリートの圧壊とはげ落ちにより鉄筋が露出するに至っている．

写真—5は，橋脚上において橋軸直角方向を見通したものであるが，いずれの桁も同一方向に変位しており，また，床版の両端は互いに衝突した痕跡も見られないことから，橋脚の両側の径間の桁は地震時には同一方向にほぼ同位相で運動したと推測できる．

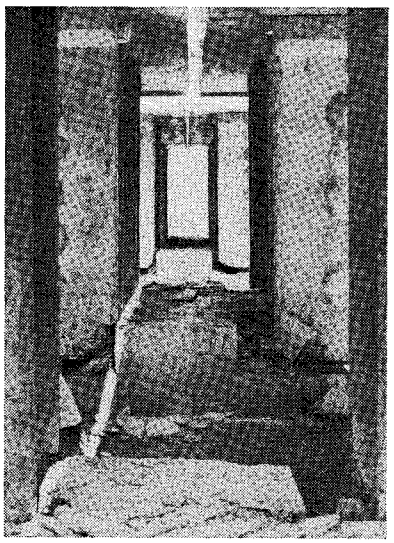
橋軸直角方向の運動に関しては，２本の桁がその桁端においてＲＣ台座をまたいだ形となっており，その方向には約 10 cm の変位の余裕があるが，桁端と台座にはともにほとんど損傷が見られず，わずかに上流側に変位している．これらのことから，地盤運動がいかなるものかは不明であるが，上部構造は主として橋軸方向にのみ運動し，かつ隣り合う径間の桁は，ほぼ同位相で運動したものと推察できる．



(Osoppo)
写真—4　支承と桁端の破損



(Osoppo)
図—5　支承，橋脚，基礎の平面図



(Osoppo)
写真—5　橋脚上の RC ストッパー

5．道路の被害

道路は各地で寸断されたが，救援活動のため緊急復旧され，筆者らが現地を訪れたころには，山岳地帯を除き通行不能となっている道路はほとんどなかった．被害を受けた箇所は，いずれも応急復旧により仮舗装されているため容易に識別できたが，被害を受けているのは多くは盛土部分であった．建設途中の高速道路では震央から数km の地点にも高い盛土部分が続いているが，ここでは盛土材料として乾燥度の高い砂礫が用いられているためか，ほとんど被害は見られなかった．しかしながら，平行している一般道路では，一部には**写真—6** に見られるような被害もあった．山岳地方では風化岩の露出した急峻な山腹が多いことから，落石や山腹崩壊が目立ち，各所で寸断されていた．



写真—6　道路の亀裂

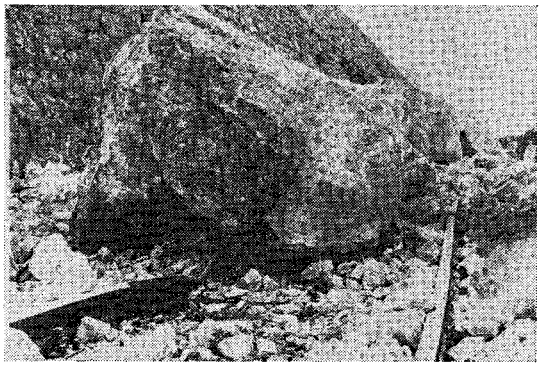
6．砂地盤の液化現象

砂地盤の液化現象は，被害の激しかった Gemona の沖積地において発生した．現場は Gemona の主要市街のある傾斜堆積地から，水平な沖積地への地盤が変わり約 1 km 山から離れた地点で牧草地や畠の多い所であるが，用水が縦横に走り，井戸の水位からも地下水位は地下数 m とかなり高いことが知られる．

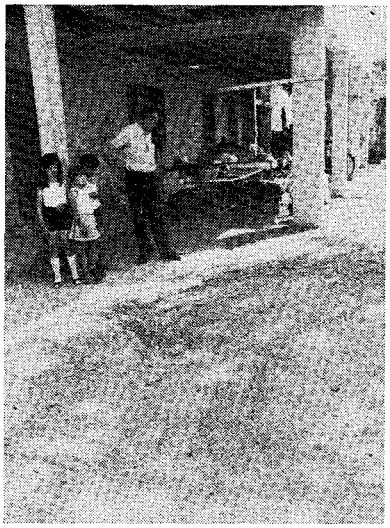
写真—7 に牧草地における噴砂の跡を示す．このような噴砂が，この付近の畠などに数か所見られた．ただ液化の生じたところは市街地からは離れているため，家屋に対する被害は軽度のものが少数あったにすぎない．**写真—8** は，庭に見られる亀裂から 10 m 近くも砂が噴出



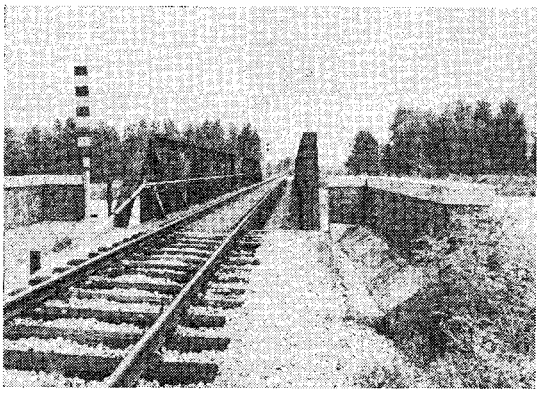
(Gemona)
写真—7　牧草地における液化噴砂の跡



(Venzone 北部)
写真—9　線路への落石



(Gemona)
写真—8　庭の亀裂から約 10 m の高さに達した噴砂の跡



(Gemona)
写真—10　盛土の陥没場所

し，そのため，写真に見られる住宅も軽い不等沈下を起こし，床の盛上がり，壁の亀裂を生じていた．

7. 鉄道の被害

鉄道は 図—3 に示すように，フリウリ県の県都Udineから北へ向かい，オーストリアへ抜ける単線1本が被害激甚地域の真中を通過しているために，盛土の亀裂，沈下，線路上への落石，駅舎の崩壊などのひどい被害を受け，約1か月間止まっていた．

被害側を二，三示すと，**写真—9** はかなり大きな落石のため，線路が押しつぶされた状況を示す．

また，**写真—10** は完全に 複旧されて しまっているためにいまではわからないが，この橋梁（Gemona 駅から Udine 側へ約 1 km 地点）の手前の盛土が約 30 cm 沈下し，レールが宙吊りになった．このように，橋梁の控え盛土の沈下は日本でも数多く起こる現象である．鉄道の被害全体として眺めて，マグニチュードのほぼ等しい日本の大分地震の際の久大線の被害と比べて，イタリアの被害のほうがやや重いという感じがした．

8. 地すべり地割れ

地すべりは，当地が山岳と沖積地の接点にあたるためもあって，多発していた．この地すべりによっても，道路が寸断され，家屋にも被害が及んでいた．

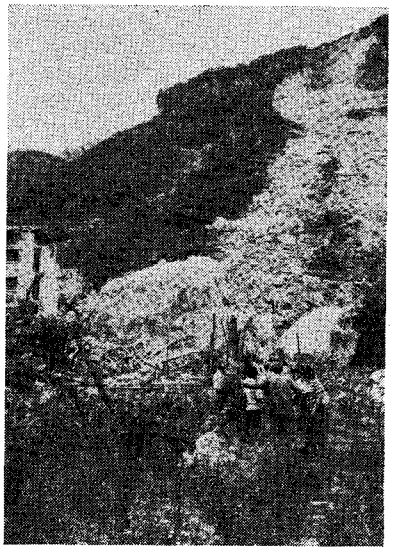
写真—11 は，Tagliamento 河の西に面した Braulins 地区の地すべりであるが，高さ約 50 m の崖が地震後3日たってすべり落ちた．この地すべりは予期されたので，人命の損害はなかったという．

9. そ　の　他

（1） 電力・通信

電力は，被害のひどいところはもちろんのこと，激震地から約 20 km 離れた屋根瓦の損傷もほとんどなかった Udine 市でも，電気は地震の最中に切れたという．しかし，激震地から小山一つ離れた変電所ではなんの被害も見受けられなかった．

日本では変圧器，碍子がその重量のたの被害をよく受けるのを考え合わせて，地震の強さが当地のほうが多少



(Braulins)

写真—11　地すべりの跡

弱いのかとも思った．電話はやはり線路の切断その他から不通となったが，1日後には一部通話可能となった．

（2）水　　道

水道は，激震地から離れた Udine 市でも約 10 日間断水した．その原因は，地中配管系の接合部の破損による漏水とのことであった．激震地の Gemona では，地中鋳鉄管の接合部の破壊はもちろんのこと，家屋の倒壊による末端の損害もひどかったようである．水道は，どの地震でも最も被害を受けやすいといえる．

（3）ガソリン・スタンド

危険物としては，ガソリン・スタンド等があげられるが，激震地においては，ガソリン・スタンドは数か所が営業を中止していた．そのうち建屋の破壊によるもの1か所，他は地中配管の損傷によるガソリン洩れのためであった．



写真—12　消火作業

（4）プロパンガス

当地の燃料は，プロパンガスが多く，薪によるものも時おり見かけた．プロパンガスが転倒した例は多く聞いたが，それにより爆発・火災が生じたということは聞かなかった．ただ，**写真—12** は火災を消そうとしているものであるが，これがなんの原因によるものかは不明である．また，火災が多発したということもなかった．

むすび

今回の調査は，言葉の不自由な点，国情の違い等のため，思うような資料が集められなかったが，次のようなことが指摘できると思う．

① 10 km ほど離れた点での強震記録，日本の同種の構造物の被害状況からみて，地震加速度は，最大 500 ガル以下であったと思われる．また，激しい地震の継続時間は岩盤上で7秒以下，沖積地では想像だが 15 秒以下の衝撃的地震であったように思われる．

② 全体として，土木構造物は石造り，れんが造の家屋に比べて強いという印象を受けた．例えば，鉄橋は古くても鉄でできており，本体が壊れることはなかった．石造りのアーチ橋もあったが，アーチがもともと地震に強いということもあって，致命的な被害に至らずにすんでいた．盛土も水分が少なく，粒子が大きくて，日本のそれよりも耐震的であるように思われた．

③ しかしながら，電気，水道は，最も弱いと思われる石造り，れんが造りの家屋が被害を出していない地域においても，少なくとも数日間は，停電，断水という事態になっており，地震に対する最弱点施設ということが言えそうである．

④ 建物は 11 世紀に建てられたという古いものもあり，それら古いものが集まっている町の中心部の被害が激しかったが，同じような古さの石造，れんが造であっても，地盤，地形の影響はかなり顕著に現われていた．つまり，周囲を岩山に囲まれた盆地状の沖積地の岩山沿い地域とか，山間部でも崖近傍とか，丘の上などでは被害が他よりひどかった．

なお，本調査にあたっては，著者の一人は文部省科学研究費の援助を受け，現地では日本大使館，ミラノ総領事，ミラノ工業大学 Grandori 教授，フリウリ県災害対策本部長 Corvo 氏，その他関係諸機関，通訳の諸嬢にいろいろご援助をいただいた．ここに記して感謝の意を表わしたい．

(1976.9.8・受付)