



1999年台湾・集集(JIJI) 大地震調査速報

中村 晋 Susumu NAKAMURA

正会員 工博 日本大学助教授 工学部土木工学科

大角恒雄 Tsuneo OHSUMI

正会員 博士(工学) 日本工営協中央研究所 主任研究員

はじめに

台湾時間で1999年9月21日1時47分12.6秒に、震央位置を北緯23.85度、東経120.81度、震源深さ6.99km、マグニチュード7.3の地震が発生した。1999年10月6日午前6時時点での消防署の統計によれば、死者2295人、負傷者8731人、行方不明者92人となっている。家屋の倒壊棟数およそ7千数百棟であった。震央は台湾南投縣集集付近であったので、1999年集集(JIJI)大地震と名づけられた。土木学会では、調査団を組織し、10月1日～8日を中心に現地調査を実施した。主として次の項目について現地調査した。

- ・地表断層，地盤変状の踏査
- ・ダム被害
- ・道路，鉄道施設の被害
- ・電力，水道，ガスなどライフラインの被害
- ・港湾施設の被害

断層および地震動

台湾を取り巻くプレートは、ユーラシアプレートに東からフィリピン海プレートが沈み込む形状となっている(図-1)。内陸活断層型地震を発生させるのは15km程度



図-1 プレートおよび断層

の内部に限られているのに対し、今回の集集地震は、中央山脈の麓で逆断層運動が生じたものであるが、これはユーラシアプレートが中央山脈の下に潜り込む運動が、急激な断層運動となって現れたものである(瀬野：東大震研)。このプレート境界の変動に起因する地震であり、震源断層は深さ40kmと深い範囲に及び、

この地震は車籠埔断層(北は大甲溪を基点とし南の濁水溪までの断層)と大茅埔一雙冬断層(車籠埔断層の東側約10kmのところ的車籠埔断層にほぼ平行に存在)が同時に動いたことにより発生したとされている(図-1)。この断層系は逆断層系であり、東側の地殻が約30度の角度で西側へ乗り上げる形状をしている。車籠埔断層の上盤は平均すると1～4m上昇した。断層の上盤側となる東勢から草屯地区における被害は甚大であった。この地震断層は長さ80km、幅40kmで地表に現れた地表面の変状の最大値は約6.5mであった。

台湾交通部中央気象局では、台湾全土で700を超える地震観測網をもち、その70%の観測点で記録が観測されている。台湾中央気象台の発表によれば震央の集集西

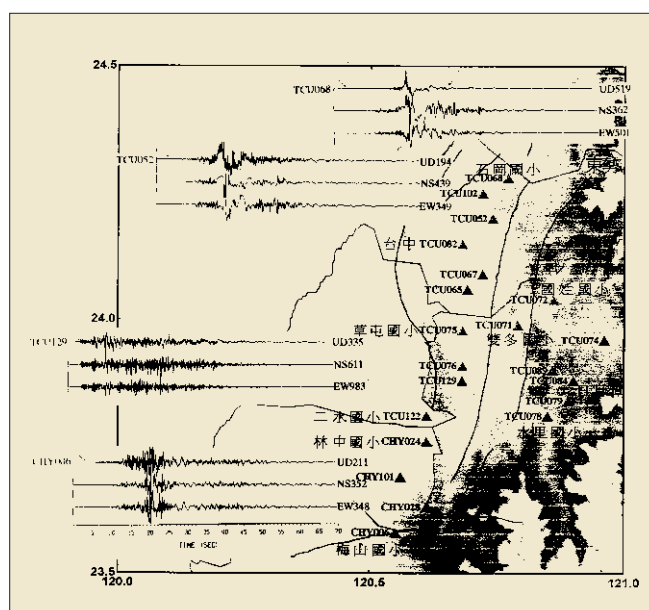


図-2 強震観測点における加速度時刻歴の分布

方約 13.2 km に位置する強震観測点 TCU129 における地表面最大加速度の EW 成分は 983.0, NS 成分は 610.7, UD 成分は 335.0 gal であった。図-2 には集集より南側で震央距離 65.4 km の観測点 CHY006 (梅山国小学校), 同じく南側で震央距離 23.1 km の観測点 CHY024 (林中国小学校), 集集の西側の観測点 TCU129 (新衛国小学校), 集集より北側で震央距離 39.2 km の観測点 TCU052 (光正国小学校), さらに北側の震央距離 47.6 km の観測点 TCU068 (石岡国小学校) での UD, NS, EW 成分の加速度地震波形を示したものである。震央近傍では高周期の卓越した比較的継続時間の長い波形となっているが、震央より南側では継続時間が短くなるが短周期成分が卓越している。しかし、震央より北側では震央距離が増加するにしたがって長周期側へ卓越振動数が移動していることがわかる。特に TCU068 の記録はパルス的な波形になっていることがわかる。このような地震動の特性は、断層の破壊過程に大きく依存しているので、今後震源過程に関する詳細な研究に基づいて記録された地震動の特性が詳しく解明され、構造物の被害と関連性を明らかにすることが必要である。

道路施設の被害

交通施設のうち、道路橋の被害は台湾中部地区にある 754 橋のうち通行止めや速度制限の伴う橋が 10 橋、さらに補強の必要な橋脚が 30 橋あることが確かめられている。現時点で個々の橋梁の被害原因を特定することは困難であるが、概ね地表に現れた断層変位に直接起因するもの、断層に伴う周辺地盤の変状や震動の影響に起因するものなどが考えられる。断層変位に起因して被災したと推定される橋梁として、石岡ダム下流に位置する碑豊橋の被災状況を写真-1 に示す。写真の右側にみられる滝は 2 ~ 3 m の段差を伴う断層が河川を横断することにより生じ、その断層の延長上にあるアバットの变形により床版が落下している。他の床版や橋脚には損傷がほとんど見られないことから、断層に起因する損傷であると推測されている。また、震動に起因した被災として推定される南投県草屯郷地区にある炎豊橋の被災状況を写真-2 に示す。ラーメン橋脚の梁と橋脚の間で滑り破壊が生じている。桁と梁の間には橋軸直交方向に桁が拘束されていることから、両者の間には大きなずれは認められていない。この桁と梁また橋脚との間の橋軸直交方向の拘束は他の橋梁にも多くみられ、被災した橋梁の中に橋脚が橋軸直交方向に傾斜しても床版が落下しない事例が見られる要因の一つであると推測される。さらに、震源に近い南投県集集鎮地区に建設中の斜張橋に被害が



写真-1 碑豊橋の被災状況



写真-2 炎豊橋の被災状況

見られた。その構造は 200 m 程度の高さのタワー斜張橋を中心に両側に 8 径間 (スパン約 40 m) の PC 単純桁橋があるというものである。被害として、斜張橋部では 1 本のケーブルが抜けだし、斜張橋部と単純桁橋部の境界のラーメン橋脚では梁の両側にせん断破壊が生じていた。このような近代様式の斜張橋はわが国でも多く建設されており、固有周期の比較的長い長大構造物の被災として原因の究明が待たれるところである。

また、道路部では断層変位に起因する段差や、震源に近い集集と中寮間の道路に生じた斜面崩壊に起因する被害などが生じた。さらに、道路トンネルにおいては、坑口部の損傷または坑口周辺地山の崩壊などの被害が認められた。

ダムの被害

震源北部に位置する石岡ダムでは、堤体の右岸部を通過するように断層が現れた。経済省水利処の水準測量によれば、堰は約 11 m, 右岸アバットは約 1 m 隆起した模様である。写真-3 は堤体破壊箇所を下流側から撮影したものである。堤体としては、土砂吐き 2 門、洪水吐き 18 門のうち、最も右岸寄りの 2 つの洪水吐きが断層



写真-3 石岡ダムの大規模な破損状況（下流側から撮影）



写真-5 台中港ケーソン岸壁背面の沈下状況



写真-4 取水トンネルの状況



写真-6 ベルトコンベヤー施設の被害状況

が通過したと思われる部分に落ち込むように大破している。また、これに隣接する洪水吐きは逆に右岸に向かって幾分せりあがるように傾き越流部にはクラックが発生している。また、堤体の左岸部から約 200 m 南側にも断層が確認されている。この断層は堤体を通過していないが、取水トンネルを切断（北側が約 6 m、南が約 2 m 隆起、右横ずれ約 3 m）している（写真-4）。石岡ダムよりも北、震源断層からの距離 7 km に位置（苗栗県三義郷）する鯉魚潭ダム（ロックフィル）では、天端に最大幅 5 cm 程度の開口を持つクラックが発生した。ここには地震計が設置されており、開放基盤面で上下流方向 196 gal、天端で 442 gal と 2.3 倍の応答倍率が得られている。

港湾施設の被害

港湾施設として、東シナ海に面し、台湾中西部におけ

る荷役の拠点である台中港が液状化による被害を受けた。主な被害は穀物・油・糖蜜・セメントの荷役専用の No. 1～4 岸壁に生じた。その構造は RC ケーソン（水深 9～13 m）であり、背面はケーソン据付け後に投入された裏込め石とポンプ圧送による浚渫砂（N 値 10 程度）からなっている。設計は設計震度 0.15 で実施されていた。被害として、最大 1.6 m 程度に及ぶケーソン頂部の海側への移動が認められた。さらに、そのケーソンの移動と背面地盤の最大 1 m 程度の沈下に伴い（写真-5）、ベルトコンベヤー施設や地中埋設管にも被害が生じていた（写真-6）。また、No. 4 岸壁にある糖蜜貯蔵用のタンクでは、糖蜜のスロッシングにより天井部が破壊し、糖蜜の流出が発生した。地震当時タンクには糖蜜が 80 % レベルまで貯蔵されていた。流出した糖蜜は岸壁まで達しており、岸壁背後のコンベヤー基礎柱に 30 cm 程度の糖蜜痕が見られた。

他の岸壁は棧橋式が主であり、No. 9～10 のコンテナ岸壁背後のコンテナヤードにおいて液状化により舗装面に亀裂・段差が認められたが、亀裂箇所を除いて地震直後から供用している。

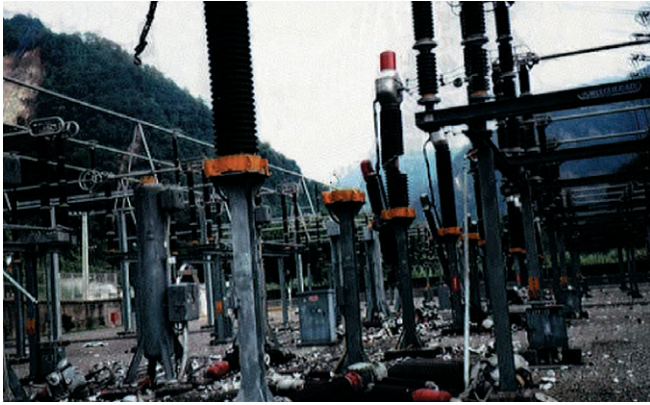


写真-7 天輪変電所における遮断器の被災状況

ライフライン施設の被害

ライフライン施設のうち、水道施設の被害は台中市への主要な浄水の供給源である豊原浄水場およびその関連施設、さらに断層を含む地盤変状を有する地域における送配水管に多く生じていた。その取水源である石岡ダム、さらに導水路トンネルの被害はすでに示したとおりである。浄水場は豊原市東部の幹線道路（3号線）の南に面した位置にあり、道路面に対して4～6m程度の隆起が認められた。場内の各池では、各設備の落下・損傷、RC柱の座屈やフラットスラブ構造の配水池の天井スラブが柱を貫通し落下するなどの損傷が見られた。また、被災地域における表層地盤は主に砂礫地盤からなり、送配水管の損傷に伴う漏水はほとんど地盤内に浸透し、その発見が困難となっている。

次に、ガス供給施設では、台中市から南投市に至る幹線道路（3号線）に沿った地域および埔里地区にて、地中から各家屋のガスメーターに至る供給管取出し部に被害が集中していた。さらに、断層による地盤変状が生じていた烏溪橋の床版下の添架管には、地盤変状に起因すると考えられる導管の変形も生じていた。

電力施設は中寮開閉所が被災を受け、台湾北部、特に新竹への電力の供給が停止し、台湾の主力産業である電子部品産業の操業を一時停止させるに至った。被害として、345 kVの碍子、ブッシングおよび遮断器の破壊（写真-7）および制御用RCボックスカブートの軸直交方向に1mほど水平ずれを伴うせん断破壊が生じていた。被災原因として、震動、開閉所を斜めに横切る断層破壊による地盤変動および盛土地盤の地盤変状などが考えられる。さらに、日月潭から北上して埔里を越えた國姓の地点の南北連携345 kVの送電鉄塔が倒壊した。構造は懸垂型鉄塔で線路直角方向谷側に根元から倒壊している。周辺の斜面は至る所で崩壊が発生していた。



写真-8 南港における大規模斜面崩壊

斜面崩壊と液状化

断層の上盤側にある南投縣では、斜面崩壊が広範囲に生じ、地震直後には山岳部を通るかなりの道路が封鎖された。南港では、写真-8に示す地層の走行に沿う形で発生したものと推測される大規模な斜面崩壊が生じた。この斜面崩壊に起因し、震生湖が2つできた。さらに、この斜面崩壊は、山頂近くにあった集落をそのまま滑り落とし、多くの犠牲者を出した。

液状化は大肚渓流域にて、かなり広い範囲にわたって起こっている。特に、南投市における南函大橋から軍功橋に至る約5kmの河川堤防が液状化のために両側とも1m以上の沈下を発生し、堤防の緊急嵩上げ工事が行われていた。また、員林鎮行政区では、鎮という行政区の下に設けられている里の長から、広範囲に液状化や地盤沈下が見られたことが報告されている。

おわりに

台湾と日本とは地震工学に関する歴史も長く、日本の大学、民間研究機関とも技術交流も深いものとなっている。台湾が日本に期待するものは、阪神・淡路大震災を乗り越えて復旧・復興によって得た耐震技術・耐震基準、特に暫定基準を策定するにあたっての検討を台湾にどのように技術移転できるかであり、日本への期待は大きく、わが国の土木学会に求められた役割と考えられる。

引用文献

瀬野徹三：東京大学地震研究所広報，No.27，1999

土木学会調査団

濱田政則（団長，早稲田大学），佐藤忠信（京都大学防災研究所），田中 聡（京都大学防災研究所），森地重暉（東京理科大学），志毛宏次（土木情報サービス），大角恒雄（日本工営）*，阿部雅人（東京大学），運上茂樹（建設省土木研究所），菅野高広（運輸省港湾技術研究所），西村昭彦（鉄道総合技術研究所），橋本隆雄（千代田コンサルタント），中村 晋（日本大学工学部）*，杉村淑人（ダムセンター），三浦三郎（ダムセンター），小長井一男（東京大学生産技術研究所），目黒公郎（東京大学生産技術研究所），岩橋敏広（都立大学），安田 登（東京電力），吉田 永（東京都水道局），福田勝年（日本水道協会），島村一訓（東京ガス），宮島昌克（金沢大学），島田芳久（近代設計），Ellen Wang（近代設計），年縄 巧（東京工業大学），森伸一郎（愛媛大学）*幹事