

台湾南部地震における橋梁被害調査

高知県橋梁会 右城 猛(会長)、高野広茂、楠本雅博

1. まえがき

2月6日、台湾南部地震が発生した。2日後の8日、台湾防災産業協会の鄭錦桐氏から高野広茂宛に「地盤液状化に対応できる工法および構造物の補強工法が必要になることが明らかになった。高知県と高知丸高から学ぶべきことがたくさんある」という主旨のメールが届いた。

彼らの要望に応えるには、台湾南部地震の被害状況を知る必要があるが、日本のマスメディアが報道するのは台南市の高層マンションの倒壊ばかりで、液状化や構造物被害については何一つ伝わってこなかった。

愛媛大学の森伸一郎准教授が2月9日と10日に現地を調査し、「液状化は起きている」「大きな橋は損傷を受けていないようだが、小さな橋は分からない」ということをフェイスブックで公表していた。

被災状況を把握するには現地調査に行くしかない。そのためには、どこに行ってもどの橋を調査するのか明確にする必要がある。

そこで、愛媛大学の矢田部龍一教授にお願いして高雄第一科技大学の盧之偉(ルーチウエイ)先生に連絡をとっていただき、現地調査の協力を快諾していただいた。

盧(ルー)先生とは、2013年6月に第一コンサルタンの幹部数名と高雄第一科技大学を表敬訪問した際にお会いしており、面識があった。

盧先生にメールをすると、すぐに返事をいただき、「地震後に700橋を調査した結果、5橋は架け替えが必要である。309橋は補修が必要だが通行は可能」という情報を得た。

そこで、高知県橋梁会台湾南部地震橋梁被害調査団を結成し、2月20日から3泊4日の日程で現地調査をしてきた。

2. 調査概要

2.1 調査団員

高知県橋梁会台湾南部地震橋梁被害調査団のメンバーは下記の4名である。

- ・右城 猛 株式会社第一コンサルタンツ代表取締役社長、博士(工学)、技術士(建設/総合技術監理)
- ・楠本雅博 株式会社第一コンサルタンツ取締役技術部長、技術士(建設)
- ・高野広茂 株式会社高知丸高 代表取締役会長
- ・陳 莉婷 株式会社高知丸高
陳莉婷(チン・リテイ)は台南市出身である。通訳担当として参加いただいた。

2.2 調査協力者

- ・盧 之偉(ルー・ティンエイ) 国立高雄第一科技大学 副教授、博士(工学)
- ・陳 宗偉 国立高雄第一科技大学 大学院修士コース2回生
盧先生は京都大学に留学し、博士の学位を取得されており、日本語も堪能である。専門は地盤工学。

2.3 日程

日時	行程
2月20日 (土)	14:30 高知から乗用車で高松空港へ 18:50 高松空港発 CI179 便で桃園空港 21:10 桃園空港着 タクシーでホテルへ 桃園大飯店泊
2月21日 (日)	7:00 タクシーで桃園駅 7:30 台湾防災協会鄭さんと会談 9:00 桃園駅発高速鉄道で台南駅へ 10:23 台南駅着 盧先生らと合流 高雄市美濃区の重劃橋、内門区の墩仔脚

	橋、東勢埔橋、東豊橋の調査 台南新朝代飯店泊
2月22日 (月)	高雄市内彌陀区の文安橋、海尾橋を調査 大愛テレビによる取材 維冠金龍大樓の取り壊し現場視察 台南新朝代飯店泊
2月23日 (火)	9:00 ホテルからタクシーで台南駅 9:49 台南駅発高速鉄道で桃園到着 11:11 11:30 桃園駅からリムジンバスで桃園国際空港 14:15 桃園空港発 CI178 便で高松 17:30 高松空港着 18:00 高松空港から乗用車で高知へ 19:30 高知着

2.4 調査場所



台湾地図



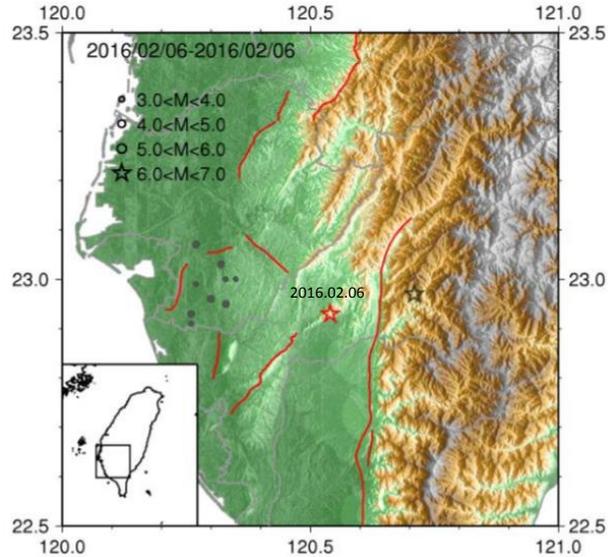
台南地図

3. 台湾南部地震の概要

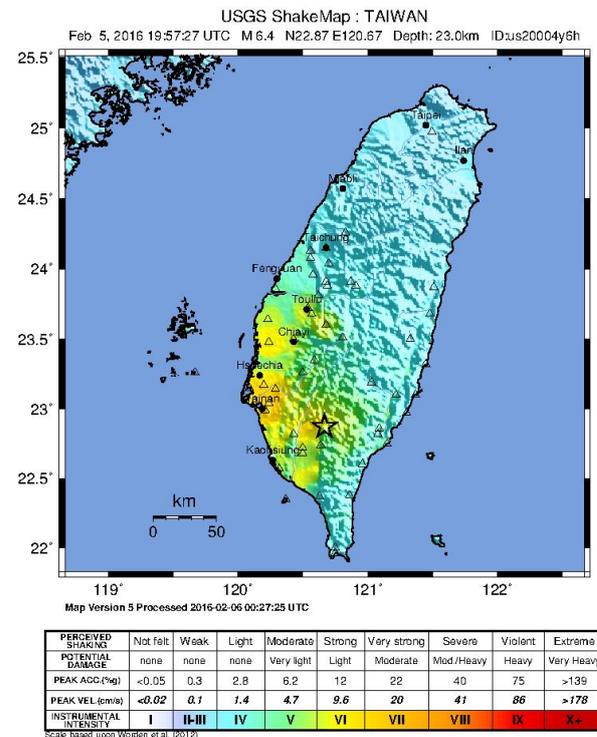
2016年2月6日午前3時57分に台湾南部の高雄市美濃を震央として発生したマグニチュード6.4の地震が発生した。

日本のマスメディアでは、「台湾南部地震」と呼ばれているが、台湾では「高雄美濃地震」「206大地震」「1050206高雄地震」などと呼ばれている。

1999年9月21に起きた921集集大地震以来の大地震である。



高雄美濃地震彙整簡報 V5.0_ENG による。



美國地質調査局製作の2016年2月6日台湾地震震度分布圖



高松空港 18:50 発の China Airlines CI-179 便で台北桃園国際空港に出発。

4. 鄭錦桐博士との会談



高速鉄道桃園駅構内にあるモスバーガーの店で 7:30 にシノテック(SINOTECH)・エンジニアリング コンサルタンツ会社防災科技研究センターで副主任をされている鄭錦桐博士と 1 時間にわたって会談をした。

国立中央大学災害防災研究センターのプロジェクトエンジニアの詹家貞も鄭博士と同行してこられたが、我々に挨拶を済ませるとすぐ帰られた。

シノテックは、創業 45 年の台湾で 2 番目の規模の建設コンサルタント会社。社員数は 2,000 人。橋梁、トンネル、ダム、ビルディングなどの設計、監理をしている。

鄭博士に専門は地球科学で中央大学の助教授、台湾防災産業協会の秘書長、台湾災害管理学会理事などをされている。

台湾の橋梁に関することなら中央大学橋梁研究センターの王仲宇教授と会うのが良いとアド

バイスをいただいた。王教授の都合がよければ 23 日 10 時にアポイントを取るように頼んであったが、生憎と王教授に予定が入っていて会うことができなかった。



今回の台湾地震は、東日本大震災と同様に双子地震説がある。高雄美濃で M6.2 が一震、その 4 秒後に台南永康で二震 M6.1 があったという説である。

双子地震説を鄭博士に質問したところ、鄭博士は双子地震説を信じてない様子であった。

5. 高雄市美濃区の調査

桃園駅 9 時発の高速鉄道で台南駅に行く。改札口を出ると、盧之偉先生と学生の陳宗偉君が迎えに来てくれていた。



旅行会社を通じてチャーターした 10 人乗りのフォルクスワーゲンに乗って美濃に行く。

重劃橋に向かう途中、日本統治時代に施工された農業用水路の獅仔頭圳、水路に架けられた獅仔頭圳第六橋、水路橋、28 号線が楠梓仙溪を横断する地点にある旗山橋を見学する。

5.1 獅子頭圳第六橋



日本人が作った獅子頭圳第六橋



箱桁断面の水路橋の上が歩道になっている。



このように耐震性に弱い家屋にも地震被害が見られない。この付近が震源地とは思えない。

5.2 旗山橋

2009年8月の台風8号(88水災)水害の復旧で2011年1月に架け替えられたPC斜張橋。

夜はライトアップされてとても美しいようである。



橋台部の支承。日本では見られない形式である。



28号線が楠梓仙溪を横断する地点に架けられた旗山橋



昼食をとった食堂



旗山の町並み

台湾の建物は道路側の1スパンをピロティーにして人が通れるようにした亭仔脚（ていしきやく）が広く使われている。耐震性に劣る構造であるが、地震による被害は見られなかった。

5.3 重劃(じゅうかく)橋



支間10mの2径間の鉄筋コンクリートT桁橋。橋脚はパイルベント方式。

地震の2日後にコンクリートバリアーが置かれ、通行止めとなっていた。



左岸側の径間の主桁の下面が大きくたわんだような形状をしている。住民説明では、これが通行止めになった理由のようである。

これだけ主桁がたわめば下面に大きなひび割れが入るはずであるが確認できない。張出床板に鉄筋の露出が1カ所で見られたがコンクリートは劣化が少なく比較的健全である。また、橋面や防護柵にたわみなどの変形は見られない。

橋を施工する際に支保工の支持地盤が弱く型枠がたわみ、その状態でコンクリートを打設したことが主桁下面の変形の原因である。



詳しく説明をしてくれた住民



橋台の背後の電柱が傾いていた。地震前から傾いていたようである。周辺地盤に液状化した痕跡も見当たらなかった。



重劃橋の側に立派な民家があった。盧先生によると客家(はっか)人の家とのこと。美濃区は客家人の町。

李夫婦が出てきて説明してくれたが、家の損傷はなにもないと明るく話してくれた。

6. 内門区の調査

6.1 墩仔脚(とんしきやく)橋



墩仔脚(とんしきやく)橋は、中華民國 73(1984)年 2 月竣工に施工されたポステン方式 PCI 桁橋。



橋梁前後のアスファルト舗装は比較的新しい。最近オーバーレイされたものである。元々地盤が弱く路面に変状が出ていた可能性が高い。

今回の地震で盛土が大きく沈下し、舗装に段差を生じている。



路側擁壁と舗装との間にすき間が発生している。地震により擁壁が前面に滑動または転倒している。



舗装に道路横断方向に幅 8cm の亀裂が入っている。橋軸方向が地震動の大きい東西方向であることから、地震動によって入った亀裂と思われる。

6.2 墩仔脚橋の近くの民家



墩仔脚橋の近くに民家があり、壁が剥がれ落ちるなどの被害が出ていた。



被災した民家に住む106歳の余さんという老婆。愛嬌があり明るい。明るいのが長寿の秘訣なのだろうと思った。

6.3 東勢埔(とうせいほ)橋



東勢埔橋はポストテンション方式の2径間PCI桁橋。事前には被災を確認できていなかった。被災した家の余さんに、他にも被災した家があると教えてもらって向かう途中で発見した橋梁。

上の2つの写真は、ネット上に公表されていた被災直後の写真である。

盛土が沈下し、橋台部に段差ができている。ま

た、盛土部の路面には大きなひび割れが発生している。擁壁が滑動し、盛土が谷川にすべった可能性がある。



我々が現地に行った2月22日には、既にオーバレイがされ段差は解消されていた。



橋脚は張出梁を持つT形形式。地震動により橋脚同士が衝突し圧壊、落橋防止装置近傍のコンクリートが剥離していた。

路面にバリケードが設置されているのは、損傷を受けた橋脚に活荷重が作用するのを避けるのが目的と思われる。



地震動により2つの径間の壁高欄が衝突し、せん断破壊したものと考えられる。



取り合わせの擁壁が橋台より1mほど外に出ており、隙間からの落下を防止するためガードレールが取り付けられている。地震とは関係なく擁壁が滑動及び回転したものと思われる。

6.4 屋根が崩壊した民家



墩仔脚橋の近くの余さんに教えて貰った被災家屋。1棟だけ屋根が崩落していた。

地震時に誰も中に居なかったため負傷者はなかったようである。

6.5 東豊橋

東豊橋は調査予定箇所であったが、その場所が分からなかった。屋根が落下した民家に居た男性が「壊れた橋がある」と言って案内してくれたのが東豊橋であった。

東豊橋は、中華民国 71(1982)年に竣工したプレテンション方式の PCI 桁橋である。



橋台と盛土に段差ができている。男性の話では、ここは1年前に舗装をしないおしたばかりであった。



親柱の破損が著しい。倒壊していない親柱では、橋名板（東豊橋）の橋の字が半分埋められている。以前より盛土部の沈下が発生し、オーバーレイが行われていたことを物語っている。

上部構造の床版下面では、漏水や遊離石灰が見られるが、大きな剥離やひび割れは確認できない。



今回調査した橋すべてに「〇〇市橋梁 定期点検 告示 碑」が貼り付けられていた。台湾でも橋梁の定期点検が行われているようである。



二日目の夜は国立高雄第一科技大学の盧之偉先生と学生の陳宗偉さんにも台南新朝大飯店に宿泊していただき、陳莉婷さんお勧めの陳阿霞飯店で台湾料理を堪能した。

7. 彌陀区の調査

7.1 文安橋



文安橋は中華民國 84(1995)年 9 月に竣工したポストテンション方式の 2 径間単純 PCI 桁橋である。



竣工からまだ 22 年しか経過していないが、損傷はひどく橋桁の中央で折れ曲がっていた。海岸部に作られており、潮風の影響を直接受けている橋である。



橋桁が折れ曲がった原因は、塩害による鉄筋および PC 鋼材の腐食である。シースは腐食して穴が開き、むき出しになった PC 鋼材も腐食して断面欠損していた。

主桁は 4 本あり、3 本に大きな損傷が見られる。海側の 1 本には顕著な損傷は見られない。

海から風が吹くと、海水が巻き上げられ主桁に塩分が付着するが、海からの風は主桁を雨水で洗浄する効果もある。この結果、海と反対側の主桁が大きな塩害を受けているものと推測される。

橋桁が折れ曲がって窪みになった箇所は土溜まりになり草が繁茂していた。このことから、橋桁の折れ曲がり今回の地震によるものではないことが明白である。



橋脚の張出梁の下面にも腐食した鉄筋が露出していた。



橋梁調査の現場には、大愛テレビの取材があった。

7.2 海尾橋



海尾橋は中華民国 83(1995)年 8 月に竣工したポストテンション方式の 2 径間単純 PCI 桁橋である。この橋も塩害を受けていた。塩害に関しては、文安橋と同様に上流側の梁下の損傷が大きい。



橋脚の張出梁の下面は腐食した鉄筋が露出すると共に、ひび割れが発生していた。

横桁には、かぶり不足による大規模な剥離・鉄筋露出が見られた。

露出した鉄筋の腐食度は高く、地震の影響で剥離したとは考え難い。



高野、右城、楠本のそれぞれ大愛テレビの許文玲記者からインタビューを受けた。

我々が台湾に来た目的、今回の地震被害調査で明らかになったこと、日本の地震で得られている教訓が台湾に生かせることなどを聞かれた。

取材を受けた橋梁の損傷は塩害であり、地震とはまったく関係なかったのが残念であった。

8. 維冠金龍大樓の調査



(蘋果日報の HP より)

上の写真は地震で倒壊する前の維冠金龍大樓である。地上 16 階地下 1 階のマンションで、台南市永大路二段に位置している。

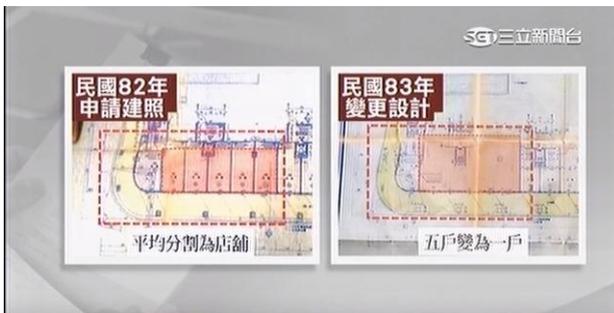
このマンションは、1989 年に創立された維冠建設会社により、22 年前の 1995 年 1 月に施工されたものである。



(総合ニュースの HP より)

今回の地震で倒壊し、住民 114 名が死亡するという大惨事となった。

ビルの壁の中からブリキの食用油缶や発泡スチロールが出てきて、「不良施工疑惑」がマスメディアで報じられた。しかし、ブリキ缶が埋められていた壁は、構造的に強度を必要としない装飾用の壁であり、台湾ではこのような施工が一般的に行われているようである。

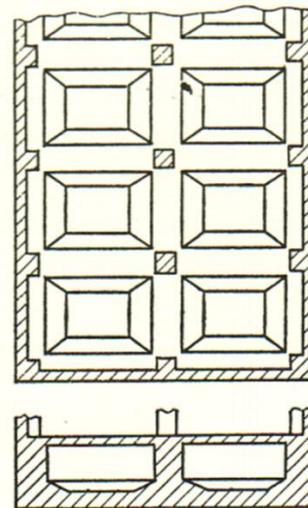


(蘋果日報の HP より)

このビルの1階と2階はスーパーマーケットとして利用するため、ビル完成後に仕切り壁が撤去されて構造的に弱くなっており、今回の地震で倒壊したと考えられている。



倒壊したマンションの現場



マンションが撤去された跡に基礎が見られる。格子状にコンクリート壁が施工されていること

から、基礎工法はベタ基礎と思われる。

日本でも東京都庁ビルや六本木ヒルズビルなど超高層ビルには直接基礎が多い。杭基礎よりも安全なためである。



掘削された路盤工を見ると、たくさんのがらくたが埋められている。日本では考えられない施工である。



倒壊したマンションの横には、古く傾いたビルも見られたが特に地震被害を受けた形跡はない。倒壊していない。

維冠金龍大樓の構造に耐震的問題があったのは明らかであろう。

倒壊現場の近くでは、新しいビルが工事中であったので見学した。日本の技術基準と同様に柱には帯鉄筋が密に配置されていた。また、帯鉄筋の端部には 135° フックがされていた。

1999 年の集集大地震の経験が活かされていると感じた。



倒壊ビル現場の近くで工事中のビルの柱

9. その他の被災橋梁

台湾での調査を終えて日本に帰る直前に、愛媛大学の森伸一郎先生のフェイスブックで、台南市帰仁区看東里にある高速道路・台 86 号線（東行線 15K+734）が、地震により橋桁が横移動して通行止めになっていることを知った。

写真によれば橋軸直角方向に移動し、30～40cm の残留変位が起きているようである。



10. まとめ

今回、現地調査した橋梁は、旗山橋、重劃橋、墩仔脚橋、東勢埔橋、東豊橋、文安橋、海尾橋の 7 橋であった。このうち、台湾南部地震で橋梁が被災した東勢埔橋のみであった。墩仔脚橋、東勢

埔橋、東豊橋の3橋は、橋梁の前後の盛土部が地震で沈下して路面に段差ができるなどの被害を受けたものであった。

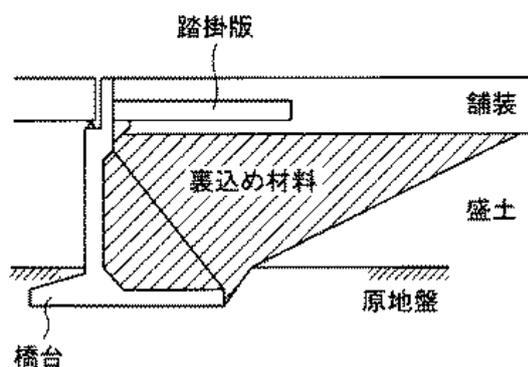
旗山橋は2011年に建設されたものであるが、日本に比べると施工技術の低さを感じた。

重劃橋は主桁下面が垂れ下がっていたが、これは施工不良によるものであった。

海岸に作られた文安橋、海尾橋と損傷は塩害によるものであった。

今回調査した橋梁から、台湾では定期的な目視点検が実施されていることを知った。その点検結果がどのように整理され、耐震性評価や維持管理にどのように活かされているのかを詳しく知りたいと思った。

橋台背後の盛土部の沈下による路面の段差防止には、日本で標準的に施工されている踏掛版の設置が有効である。



橋台の踏掛版

橋梁の点検調査や診断に関する技術開発は、日本でも最近始められたばかりである。今後は日台の技術者が情報交換と親睦をこれまで以上に深めると共に、連携して技術開発に取り組むことが望まれる。

コンクリート橋の塩害対策としては、かぶり増厚、コンクリート塗装、エポキシ樹脂塗装鉄筋、防食パネルなどが日本では採用されている工法が参考になる。

今回調査した橋梁はすべてコンクリート構造であった。今回の地震で被災した橋梁は、いずれも地盤が軟弱な箇所に建設されていた。地形や地質によっては鋼構造の橋梁が有利と思われた。

高知県には、鋼管杭を利用して耐震性や施工性、経済性に優れた橋梁を開発している企業がある。この橋梁は、台湾のインフラ整備に貢献できると感じた。



高知丸高のステップブリッジ工法

11.あしがき

今回の調査は年度末のためにスケジュールが詰まっており、3泊4日という時間的に非常にタイトな中で行わざるを得なかったが、効率よく調査を進めることができた。また、予想以上の成果を上げることができた。

愛媛大学の矢田部龍一先生、安原英明先生、森伸一郎先生、中島淳子さん、高雄第一科技大学の盧之偉先生、学生の陳宗偉さんにお力添えをいただいたお陰である。心より感謝申し上げます。

4月18日(月)13時30分から高知市の高知会館で高知県橋梁会の研修会が開催される。そこで、今回の調査結果を報告する予定である。また、高雄第一科技大学の盧之偉先生にも高知に来ていただき、114名の死者を出した高層マンション維冠金龍大樓の倒壊原因について講演をしていただくことになっている。

本報告書が、30年以内に70%の確率で来るとされている南海大地震対策に些かなりとも役に立てば幸いである。

また今回の調査が、高知県と台湾の技術交流、相互連携のきっかけとなることを切望している。