

台湾橋梁管理興即時監測検討会に参加して

A Brief History of Taiwan Bridges Management and Real Time Monitoring:

From 921 Chi Chi Earthquake to 88 Typhoon

安川 義行¹

¹ 東日本高速道路株式会社 技術本部 技術・環境部 構造技術課

1. はじめに

台湾東部の南方澳（Nanfangao）において9月30日に発生した落橋事故を契機に、台湾交通部道路局が中国土木水利工程学会（Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering 以下「CICHE」と記す）に、事故調査とあわせて地方道路管理者への意識向上を目的に橋梁維持管理の現状と課題について会議開催の要請を行いました。そして会議に際してCICHEが、日本の土木学会（以下「JSCE」と記す）に橋梁における防災、維持管理の現状について話題提供依頼を行い、それに対応すべきJSCEの照会により自分が今回、講演の一部を担うことになりました。なお、JSCEは国際交流活動の一環として、海外の土木学会と協定を締結し、技術交流、情報交換そして災害調査などを定期的実施しております。

また、会議開催の前日に発起人である道路局ならびに協賛社で台湾最大手の建設コンサルタントの台湾世曦工程顧問股份有限公司（以下「CECI」と記す）への表敬訪問と簡単な討論会を通じた歓迎を受けました。

本文は以上についての報告となります。

2. 行程

会議は、台湾の台北市内の国際会議場で11月15日の9:00から17:30までとなることから、それにあわせて前後の滞在となりました。以下具体の行程を記します。

(1) 令和元年11月14日（木）

- ・羽田空港 9:20 発 台湾（松山空港）12:40 着
- ・訪問先
 - CICHE 13:30-13:50
 - 交通部道路局 14:00-15:30 （CICHE 案内）
 - CECI 16:00-17:30 （CICHE 案内）
- ・意見交換会：交通部道路局，CICHE，CICE，新平市

(2) 令和元年11月15日（金）

- ・台湾橋梁管理興即時監測検討会

-場所：張榮發基金会 1101 国際会議場

International Conference Hall, Chang-Yung Fa Foundation

-時間：9：00-17：30

-主催：CICHE

-協賛：財団法人台湾營建研究院，国立台北科技大学工程学院，中華民國鋼結構協会，
CICE，三聯科技教育基金会（以下「Sanlien」と記す）

・意見交換会：CICHE，CICE，Sanlien

(3) 令和元年 11 月 16 日（土）

・台湾（松山空港） 13：30 発 羽田空港 17：30 着

3. 会議等報告

(1) 表敬訪問及討論会

a) 交通部道路局

高速道路局長である鄧氏への挨拶後に別会議室にて若手技術者と意見交換を実施。以下に主な内容を紹介する。（写真-1）

- ・高所点検でロープにつかまりながら作業している映像を見たが本当か
→近接目視の際に点検車が届かない箇所において実施している。指摘のとおり危険で特殊な作業であることからこれに代わる点検手法例えば UAV や点検ロボットの活用について現在検討中である。
- ・今回の落橋の事例のように突然の事象にはどう対応すればいいのか
→原因に関する情報をもっていないことから適切な回答はできないが，橋の挙動などを普段から観測例えばモニタリングにより把握し，通常時と異なる挙動を確認すればすぐに管理者に通知するような取組は提案できる。日本でもそのような取組を試行的に採用している。
- ・台湾は海に近接しており塩分による被害が多いが何か対策は
→コンクリートであれば通常より鉄筋のかぶりを大きくすることや鉄に対しては防錆ならびに耐候性によりすぐれる塗装を採用する。

といった応答があった。せっかくの機会から「若手技術者が橋梁に興味をもってもらうための道路局での取組を教えて欲しい」と尋ねたところ，特段の回答は得られなかったものの今回の会議開催自体がその一環であることは理解できた。

また，前述の質問にあるように落橋に関して危機意識を共有しており，同席の CICHE 次期会長の宋氏より「わが国でも光ファイバーを活用したモニタリングを始めており一定の成果が得られている。機会をみてみなさんに情報提供したい」とのコメントがあった。

b) CECI

会議協賛社である当社は，1969 年に創立された台湾最大手の建設コンサルタントで最初の高速道路や高速鉄道そして地下鉄システムなどに携わってきている。そしてその活動は国

内にとどまらずインドネシア、フィリピン、香港などに海外支店を設けて海外までに及んでいる。日本語による会社概要および業務概要 DVD での紹介後の質疑応答となったことから基本的には当方からの質問主体となった。以下主な内容を記す。(写真・2)

- ・3D 画像を活用した橋梁マネジメントシステムならびに有事における危機管理支援システムの取組動機は

→今後の社会情勢特にインフラ事情を先取りしての行動である。橋梁マネジメントシステムは橋の老朽化の観点から必要になると考え ICT 技術を活用して構築している。危機管理支援システムは、台湾において地理上自然災害事例が多くこれらに適切に対処すべき観点から必要であると考えての取組である。特に有事の際の迂回路情報提供は大事であると考えている。

- ・システム開発と設計には情報が必要であるがインフラ管理者でない御社ではどのようにして入手しているのか

→情報が重要であることは認識している。過去 50 年の自社設計橋梁のデータ（台湾の橋梁の 4 割は当社が設計担当）、自社での点検管理業務を通じて得たデータ、センサー会社のデータ、政府のオープンデータ、衛星データ等をシステムに活用。なお、保有していない橋梁のデータは、管理者に提供依頼の呼びかけをしている。

- ・システム開発の結果としてどのようなビジネスモデルを考えているか。

→システムのリース料収入も考えているが開発したシステムをもとに点検管理業務を地方行政から請負うことを考えている。また海外での仕事も意識している。

c) 意見交換会

前述の訪問先対応者とあわせて CICHE の現会長である王氏ならびに新平市公務局局長の朱氏を交えた歓待を受けた。参加者は立場が異なるものの皆顔見知りで機会があれば意見交換をしているとのことであった。なお、新平市の朱局長は議会開催期間中で多忙であるものの、関係者のつながりを大切にされていることとあわせて日本からの珍客に興味を抱いたことからの参加と思えた。この場では、少しくだけた互いの自己紹介とあわせて他のインフラ（下水道など）の管理の大切さについての議論があった。

興味本位で事故に関する調査状況を尋ねると、進行中で特に話ができる情報がないとのことであった。なお、現場はすでに片付けが終わり整理された状況とのことであった。

(2) 会議

a) 日時

令和元年 11 月 15 日 9:00-17:30 (途中、休憩込み)

b) 参加者数

約 300 名 (半分が技術者で半分が地方管理者)

c) 会議トピックス

会議は、プレゼン資料ならびにその説明は台湾語で行われ、通訳ならびに資料内容からの

推察のため断片的な理解となったが特徴的な事項を以下に紹介する。(写真-3,4)

呂 教授 (Liang-Jenq Leu) 【財団法人台湾營建研究院院長】

橋梁最適化設計及び機械学習の橋梁管理への応用

- ・補強前後の固有周期を測定することで補強効果を確認することができる。
- ・サンフランシスコのゴールデンゲートブリッジ、ニューヨークのブルックリン橋の事例を用いて、当時現在のようなツールがなくてもこのような素晴らしい橋を建設している。これは、当時アメリカの成長しつつある社会経済情勢の下、すぐれた設計・施工ができ、その後の適切なメンテナンスによるものである。特に環境による劣化が生じても適切なメンテナンスにより現時点においてもこのような素晴らしい橋が今も使用されている。
- ・AI の応用が最近交通案内で使用されているが土木では遅れている。金融や通信部門と比較して大きく遅れをとっている。
- ・ランダムフォレストツリーによる機械学習 (AI) を活用することで点検費用を軽減することができる。具体には、ある 2 時点 (1992 年とその 2 年後の 1994 年) の点検データをもとにモデルを作成してその 2 年後の 1996 年の劣化状況を予測するのである。点検は NBI (FHWA) によっている。なお、予測の精度はモデルに使用する劣化データに左右され、より幅広く劣化程度 (10 段階のレベルでどのレベルまで) を使用することで精度が向上し、その結果として点検頻度低減することができ費用の低減につながる。また、人間による点検作業のサポートツールとなりうる。

宋 教授 (Yu-Chi Sung) 【国立台北科技大学教授・工程学院院長】

橋梁ヘルスマニタリング

- ・今回の落橋事故で計測、監視の必要性が高まってきている
- ・センサーおよびデータがあって評価基準がないと意味がない
- ・橋も人間の健康診断と同じ、短期と長期の観点で見る必要がある。
- ・斜張橋、エクストラドーズド橋といった吊橋における架設系に応じた監視項目の設定
- ・載荷試験により同定された橋梁モデルの維持管理への展開
- ・ケーブルの振動数を経時的に長期計測することで劣化を把握できる
- ・将来の目標として損傷検知から情報提供までを自動化したモニタリングシステムを構築により防災面で役立てるようにしたい。

Patrice Marc Pelletier 【Deputy Chief Executive of OSMOS Group】

林 先生 【Sanlien 技師】

Real Time Bridge Monitoring System

- ・今後、台湾におけるインフラ構造物に適用可能となりうる世界各地で実施している OSMOS 社の SHM 事例の紹介

韓 教授 【国立台湾大学土木工学系教授】

橋梁点検における UAV 技術の現況とその可能性

- ・UAV 技術、GNSS そして撮影技術の 3 技術の特性を融合することでより有効な技術と

なりうる。

- ・ UAV による多方向からの写真データをもとに 3D モデルを構築。モデルを自由に動かすことで現場に行かなくても点検が可能。現場を机上で再現可能。
- ・ 撮影画像から損傷、欠陥そして腐食をモデル化
- ・ レーザスキャンによるマッピング技術は座標データまでを含めた高精度のモデル構築が可能となるが実際の維持管理にはそこまでの精度は不要
- ・ サーマルに応用できるが閾値がない
- ・ UAV 撮影による画像化はすぐれた技術であるが、撮影の課題として、①撮影時の光量②撮影時の作業領域、被写体との距離③衛星の電波の取得④UAV の操作能力と免許が挙げられる。

林 総工師 (Lin, Yew-Tsang) 【CICE】

橋梁災害管理プラットフォームの開発とその適用

- ・ 台湾にある 28,000 橋の橋梁を対象とし、損傷・劣化データとリンクさせたい。
- ・ 断層と地盤情報（ボーリングデータ）をモデルに取り入れている
- ・ InSAR 解析（衛星撮影解析）により任意の断面での地盤変位（隆起など）とその推移を情報として活用している。
- ・ プラットフォームで使用する情報は多すぎても意味がなく 47 種類である。
- ・ 災害時における意思決定ツールとしたい
- ・ データを有効に活用し複合災害（台風、大雨、土砂くずれ）などに備えたい
- ・ 活用するデータは、自社で設計した橋梁の諸元、点検時のデータそして気温などのオープンデータとしているが、さらにはインフラ管理機関が保有するデータも参考にしたい。
- ・ 管理者の保有する管理台帳も重要な情報である
- ・ 自然災害ならびに管理者不足による人的災害に対応したい。

黄 資深協理 (Ping-Hsun Huang) 【CICE】

台湾における既存橋梁延命化のための補強

- ・ 台風ならびに地震による被害の概要
- ・ 環境と人為による損傷要因分析
- ・ 人間が住める地域が狭い。平野が少ない。
- ・ 被害のポテンシャルが高い。降雨量、河川勾配、土壌粒度
- ・ 断層が各地に分布しており活動している。
- ・ 橋梁の塩害は季節風に左右される
- ・ 定期点検。2年1回実施
- ・ 点検マニュアルによる評価は、4項目（劣化の程度(D)、劣化の範囲(E)、安全性の影響(R)そして緊急性(U))において、4段階(0~4))で実施している。
- ・ 点検の問題：点検頻度が多い、項目が多い、費用の問題
- ・ 2代点検の問題：1回目と2回目の点検における検査結果が異なることがある。点検の

信頼性の課題

- ・ 橋梁のライフサイクルコストの分類：初期コスト，点検コスト，予測できるコスト，予測できないコスト（地震や台風），制度・法律変更によるコスト
- ・ 予防保全によるコストの低減
- ・ 基準更新に伴う補強：耐震補強を例に（コンクリート巻き立て，分散，免震）

d) 自分の発表

英語によるプレゼン資料と説明を逐次台湾語に通訳され紹介. そのため時間を2倍要し，結果として準備した資料の半分程度の紹介となった. (写真-5)

- ・ 橋梁をとりまく環境と劣化要因
供用年数の経過，大型車交通量の増，凍結防止剤の散布量の増，内在塩分，ASR ならびに旧基準に基づく設計橋梁における潜在的な問題（PC グラウトの充填不足など）
- ・ 点検
点検の種類と目的，近接目視点検の義務化，点検の省力化，点検の一巡後の課題
- ・ モニタリング
役割，適用シナリオ，モニタリングの事例紹介
- ・ SMH
概要，目的，データベースの活用
- ・ さいごに
メンテナンスにおける個々のプロセスの重要性，サイクルの重要性，人と ICT 技術の融合. 最終的な判断は技術者.

e) 結びと全体討議

張 理事長 (Dyi-Wei Chang 結構工程技師公会)

台湾における橋梁安全維持管理計画の提案

- ・ 台湾における地理的条件に基づく自然災害の紹介
地震，台風が上陸しやすい. そしてその後の降雨による水流は，河川勾配が急なことから激流となり土砂崩れ，河川の氾濫等につながる.
- ・ 災害は天災と人災によるものがある.
- ・ 高雄地震後に自然災害白書を作成：学者と地方行政官とで構成された委員会
橋梁安全政策を提言：コスト，人材の確保
- ・ 新設橋には開通式や渡り初めなどの記念式典があるが補強にはそのような記念すべき式典はない. より注目される取り組みが必要.
- ・ 橋梁災害，事故事例の紹介：他国の事例
- ・ 地震のあとに地盤のゆるみが発生して土砂崩れが起りやすくなっている. 複合災害の問題（地震，雨，土砂くずれ）
- ・ 疲労の問題
- ・ 日本における新幹線の地震時の報知システムを事例に，警報を発生するタイミング（関

値の設定) が非常に重要.

以上の説明後に, 発表者全員が登壇し, 張理事長による司会のもとに会場参加者を含めた全体討議を実施.

- ・水中構造物の点検手法について教えて欲しい.

→現時点ではまだ十分にできていなくて技術開発ならびに試行中である.

- ・ケーブルの点検はどうしている

→近接目視を基本としている. なお, 詳細点検時にはケーブルのみならず定着具付近も調査点検するようにしている. また, 打音による張力のゆるみがないかも確認する.

- ・今回の落橋の要因として制限重量超過車両の走行が考えられる. その一方で設計荷重以上の車両走行を管理者が認めていることをどう考えるか. どの程度の重量車が走行できるのか.

→25tf の重量車まで許可なく走行できる. 橋への影響を考慮し, 許認可条件をもとに走行させているのであれば問題ないと考える. 制約条件もなく日常的に走行させているのであれば問題である.

f) 技術展示

会議場と同じフロアである休憩室において技術展示が行われていた. 時間の関係で見れたブースの内容を以下に紹介する.

- ・CECI

講演会で説明のあった橋梁災害プラットフォームを補足するパネルがあった. 定期的な InSAR 解析データにより地盤変位を把握し, 台風・大雨によるインフラへの被害を予測するシステムの紹介があった.

- ・Sanlien

講演会で説明のあった光ファイバーを活用したモニタリングシステムとあわせて加速度計による橋梁変位モニタリングの紹介があった. なお加速度計には日本の精密機械メーカー (SEIKO EPSON) 社の技術が使用されており, 日本からの技術者の説明もあった.

4. 最後に

標題にある 921 大地震は, 1999 年 9 月 21 日に, 台湾中部の南投県集集镇付近を震源として発生したマグニチュード 7.7 の地震であり, 死者行方不明者約 2,400 人, 家屋全・半壊約 15,000 戸にのぼり, 建物・道路等の被害とともに土砂災害も甚大であった. そして 88 台風は, 2009 年 8 月 3 日に発生した台風 MORAKOT(8 号)により, 8 月 7 日台湾に上陸, 横断し, 8 月 8 日に台湾を抜けた. この台風により 3 日間雨量が世界記録にほぼ匹敵する豪雨をもたらし, 中南部を中心として土砂災害や洪水災害を引き起こした. 当災害に関しては日本からも学会等から調査団が派遣され紹介されている. 台湾では, これを契機に防災に関する意識向上を目的に各種取組が行われてきている. なお, これらは自然と地理的要因により生じた大惨事であるが, 今回の落橋事故は現在調査中であるものの前二要因とは大

大きく異なり、構造物の老朽化と点検・管理の在り方に起因し、今わが国が取り組んでいる状況に近いのではないかと個人的には考える。

今回特に興味を引いたのは、橋梁を含めた各種データを一元的に集約した災害時支援のための防災プラットフォームシステムの構築である。そして必要な情報を日本でいう道路管理者でなく民間1コンサル会社が収集しシステム設計していることで、驚くべき企業家精神である。

また、行程が厳しい中、訪問先や会場への移動途中における車窓ではあるものの、街路や街並みや自動車専用道路と橋などを自分の目で見ることは検討会参加とともに知識の幅を広げる貴重な経験となった。(写真-6,7)

最後になりますが、今回の検討会における講演とそれを通じた優秀な技術者と知りえた機会を提供してくれた台湾交通部道路局、CICHEそしてJSCE国際センターへの謝辞をもって本報告を終了いたします。

参考文献)

- 1) 台湾大地震 現地調査団帰国報告 台湾 921 集集大地震 土砂災害現地調査報告(概要) (社)全国治水砂防協会 <http://www.sabo.or.jp/topics/taiwan2/1102.htm>
- 2) 2009年台風 MORAKOT による台湾水・土砂災害 -3日間雨量 3000mm の脅威- 京都大学防災研究所 藤田 正治
<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/ndic/bunkakai/3hujitamasaharu2009.pdf#search=%27%E5%8F%B0%E6%B9%BE++88%E5%8F%B0%E9%A2%A8%27>