

建設工事における安全管理システムに関する考察

Research on safety management system in construction accident

北條哲男*, 前川行正**, 大幢勝利***

Tetsuo HOJO, Yukimasa MAEKAWA, Katsutoshi OHDO

*博士(工学), ものづくり大学教授, 建設技能工学学科, (〒361-0038 埼玉県行田市前谷 333)

**ものづくり大学非常勤講師, (〒361-0038 埼玉県行田市前谷 333)

***博士(工学), 労働安全衛生総合研究所, 建設安全研究グループ上席研究員,

(〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6)

In this paper, a bridge failure is taken as an example of a construction accident, and potential factors which resulted in the accident are analyzed. As a result of analyzing the factors, it was shown rather than the technical factor which is a direct cause of an accident in case of this accident that the indirect human factors, such as contract, governing structure, design-construction system etc., had serious influence. In this example, while reporting these indirect human factors clearly, the collapsed beams of the accident are exhibited in the campus of university. Thus, it pointed out that it was an effective method to analyze the past accident and disaster example, and to use for safety education.

Key Words: Construction industrial accident, Bridge failure, Safety control, Human factor, Safety education

キーワード: 建設労働災害, 落橋事故, 安全管理, ヒューマンファクター, 安全教育

1. はじめに

建設事故を防止するには、事故の直接要因となる施工技術などのハード的対策とともに、実際に作業する人間の特性を考慮した対策、すなわち事故やヒューマンエラーの背景にある種々のヒューマンファクターに関する分析や対策を検討することが重要である。広義のヒューマンファクターには、例えば現場の作業に携わる人、計画や設計を担当する人、それらを監督する管理者、企業経営者、行政の責任者など人間が介在する全ての階層やプロセスに係わる問題が含まれる。従って、人間行動に及ぼす影響を単に個人レベルのファクターだけでなく、集団組織レベル、社会文化レベルのファクターなどの観点から幅広く分析して対策を講じることが必要となる。また、事故は作業者の誤操作・誤動作などのヒューマンエラーが起因となり発生する 경우가多いが、エラーに至るには直接原因、間接要因、背後要因などがある。従来は表面的な直接原因のみに着目する傾向にあったが、対策を講じる上では、その背景にある各プロセスにおける根源的要因としてのヒューマンファクターを明確に把握することが重要である^{1),2)}。

本論文では、海外における建設事故とその調査事例をもとに、事故に至る背後要因について検討を加え安全管理システムに考察

を加えるものである。本稿で建設事故例として採りあげたオーストラリアのウエストゲート橋落橋事故³⁾は、1970年橋梁架設時に橋桁が座屈して崩壊し多数の死傷者がでたものである。事故直後、州政府に事故調査委員会が設置され、事故に至る技術面的原因究明と各組織の責任分担等に関する調査を実施した¹⁾。本文では、まず事故の概要を紹介し、次いで調査報告書の内容から技術的要因とともに、各組織の工事への取組み経緯に関しても考察を行った。

また、事故調査に携わったモナシユ大学構内には、崩壊した桁の一部が現在も展示されており、事故調査のあり方や安全教育について考察する。

2. 落橋事故の概要

オーストラリアのウエストゲート橋は、メルボルン市のヤラ川河口に位置する斜張橋(中央径間336m)を含む全長2,580mにわたる橋梁である。斜張橋に隣接するアプローチ部分の支間112mの鋼箱桁を架設中に、鋼箱桁が径間中央部で突然崩壊して落橋し、橋脚が倒壊する大事故となった。

ウエストゲート橋一般図及びアプローチ部の鋼箱桁断面を図一

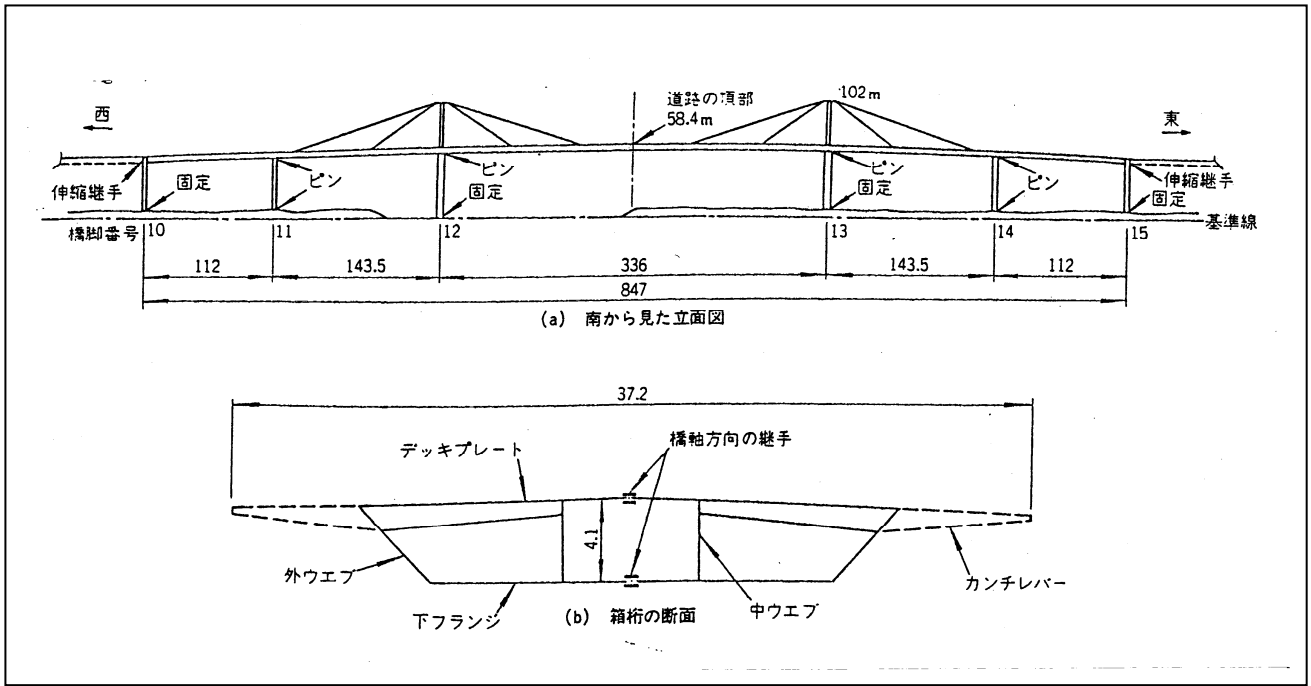


図-1 ウエストゲート橋とその桁断面⁴⁾

1に示す。落橋したのは橋脚10-11間に架設された箱桁部分で、桁断面は逆台形の3室箱桁である。本橋では、桁を橋軸方向に二分割して支間全長を地組みした後、各ブロックを橋脚上にジャッキアップし、最後に両ブロックの上下フランジと横リブ等を橋軸中心線に沿ってボルト接合する架設工法が採用された。架設時には、桁は開断面で非対称のため振れやすく、しかも接合される上下フランジ部分は2.5m近い自由突出端となっており不安定な構造である。特に上フランジはコンクリート床版と合成させる設計であったため肉厚が薄く(約9.5mm)、反りや座屈が生じやすい断面であるにもかかわらず十分な補剛がなされていなかった。

橋脚10-11間に架設された2つの桁ブロックの接合作業は困難を極めた。両橋脚からボルト接合を開始したところ、支間中央(桁パネル4-5)における両ブロック間のキャンパー差が約115mmに達し、接合が続行不可能になった。このキャンパー差調整のため、一方の桁ブロック上に56トンのコンクリート錘を載荷してキャンパー差の解消を試みたが、かえって上フランジに生じた座屈変形を増加させ接合が不可能となった。そこで、座屈変形の進行を阻止するために載荷したコンクリート錘を撤去し、更に桁パネル4-5間の上フランジ添接ボルトの一部を取り外すこととした。

1970年10月15日の朝、支間中央付近でボルト撤去を開始した。30数本抜き取った時点で上フランジ部分が次第に膨れ上がり、添接部で滑動が起り始めた。次第に座屈変形は上フランジ全般に伝播し、更に上フランジに取り付けられていた内側ウェブも座屈し始めた。桁断面は死荷重を支

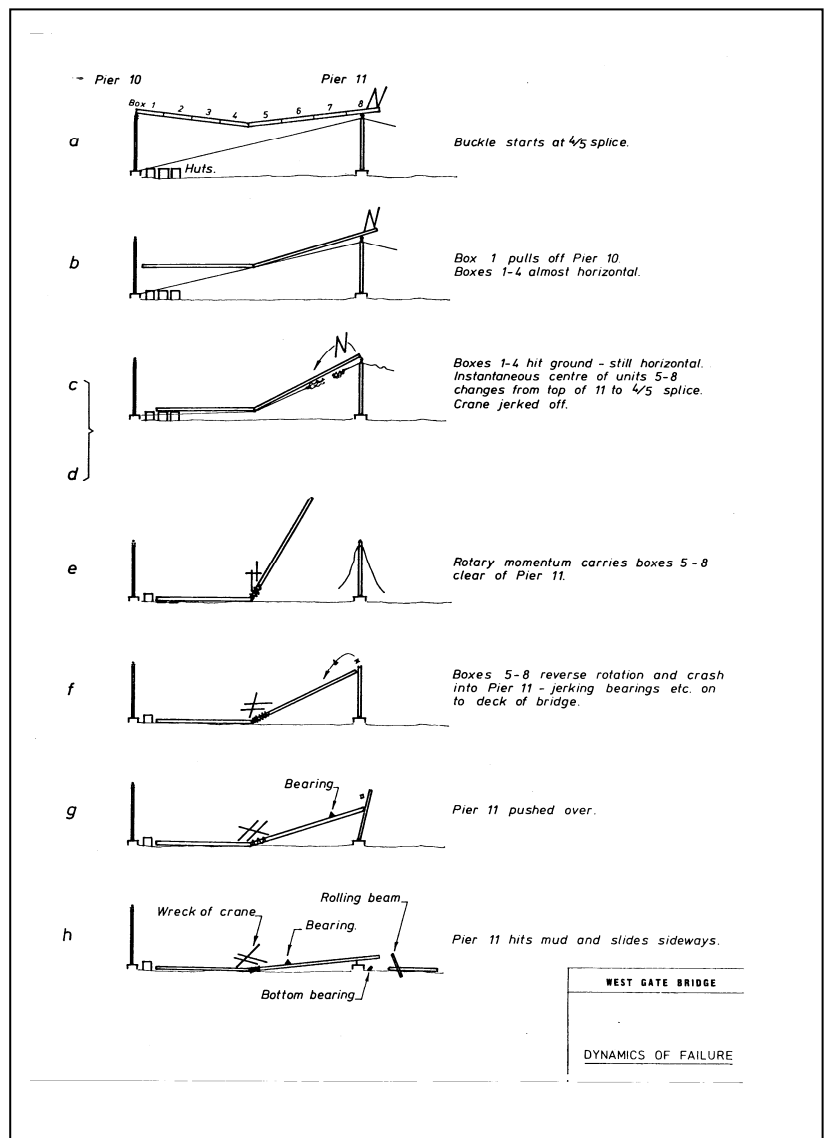


図-2 ウエストゲート橋の落橋状況³⁾

持出来なくなり沈下を始め、ダイヤフラムを介してその自重が他方の桁に荷重として付加され、その集中荷重に耐え切れず桁パネル4-5間が崩壊して落橋するに至った。正午頃、桁は中央で折れるように崩壊し、その桁が衝突したことにより橋脚11も倒壊した(図-2)。その結果、現場主任技師を含む35名が犠牲者となる大惨事となった。

なお、事故後のウエストゲート橋は、コンクリート床版に替わり鋼床版を採用して再設計され、また架設工法も通常の張出し工法に変更されて建設が再開され、落橋から8年後の1978年に開通した。

3. 事故の要因分析

3-1. 調査報告概要

ヴィクトリア州政府は、事故発生後直ちに事故調査委員会を設置し、メルボルン大学・モナシュ大学等の試験研究機関に試験を含む調査を依頼した。試験結果や証拠物件を分析し、更に裁判所における関係者の証言を精査して、半年後の1971年7月に報告書が完成した。報告書の内容は、まえがき、崩壊、設計、設計計算、各種報告書、各種実験、材料、各組織の能力と相互の関係、安全管理、組織の責任、付録(証人リスト、証拠品リスト等)で構成されている。なお、本建設工事の契約は、橋梁基礎工事・コンクリート工事はJHC、鋼橋工事は当初はWSC、途中からJHCであった。

報告書では、技術的な事故分析とともに契約方式や発注者・設計

者・施工者間の行為の事実関係を明確に把握することに焦点が置かれている。一例を挙げると、図-3は本橋の設計計算に関して、誰が、いつ頃、どのような計算を行ったかを明らかにするために、設計コンサルタント(F&P)と施工業者(WSCおよびJHC)間の作業のやり取りについての状況を模式的に示したものである。この調査から、本橋の設計者であるコンサルタントの構造設計の検討不足と架設方法に関して施工業者への指示が十分でなかったことが事故の主要原因であると論じている。特に、新たな架設方法の選定に関して十分な検討がないまま実行を認めた点、架設時の応力照査を怠った点など、設計管理に重大な欠陥があったとされている。

その背景には、本橋がオーストラリアで初めての本格的な斜張橋建設であったため、英国で実績のあるF&Pが設計コンサルタントに選定されたが、具体的な架設検討を施工業者任せにしたことが挙げられる。更に、労働争議による工事遅延の影響で工程短縮を図ったことや架設途中での施工業者の交代による工事関係者間における情報伝達の不足などの要因も加わった。結論として、設計コンサルタントF&Pの設計業務の取組みに対する責任感の欠如が最大の原因であり、同社に重大な責任があることを指摘している。

3-2. 設計・施工体制の要因

ウエストゲート橋はオーストラリアでは初めての本格的な斜張橋で、桁には当時としては斬新な逆台形の箱桁形式が採用されて

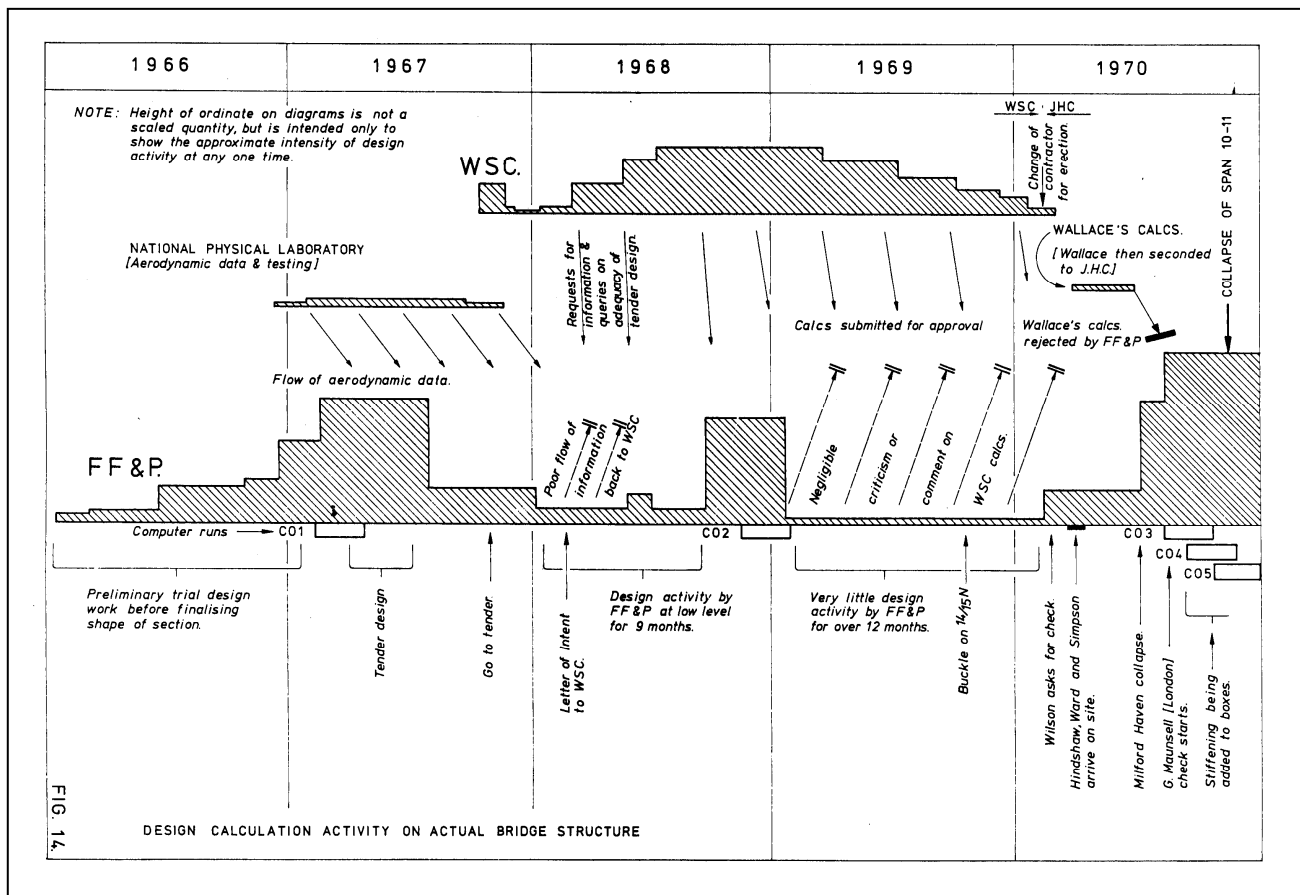


図-3 設計計算作業の取り組み経緯³⁾

いた。一面吊り形式で、吊構造部の桁にはわずかの曲線形状が入っており、このことが桁の製作架設に複雑な影響を与えていたようである。架設方法として、3室箱桁（図-1 参照）は現地では桁を半分ずつ地組したのち橋脚上に架設し、中央部分をボルトで接合する方法を取っていた。また、架設に際しては工程確保の目的から、パネルを出来るだけ標準化し、取り扱いが容易な範囲で大きなブロックとしている。これらの長が、事故を引き起こす要因であるとは断言できないが、設計や施工に関して十分な配慮を払うことが必要であったと考えられる。

いかえると、通常の設計部門と施工部門との綿密な連絡・協調体制が必要であるが、このケースの場合には発注者と設計者と施工者の各社間が不和であり、さらには不信感まで起きていたということで、コミュニケーションが十分ではなかったことが指摘できる。

発注者はオーストラリアメルボルン市であるが、発注者サイドの問題点として、設計会社への発注方法が挙げられる。設計会社への発注に際して、イギリスにおいては施工時の架設をも考慮した設計をするが、架設時には全責任を架設会社に委ねるというイギリスにおける設計契約を熟知せず契約を進めた。そのため、施工会社であるWSCが設計計算等のデータを要求してもなかなか出さないことが多く、工事が遅延した原因ともなった。また、それが両者のコミュニケーションを悪化させた一因にもなったともいえる。

WSCの工程遅れの原因としては、設計者とのコミュニケーション不足の他にも、労働争議によるストライキや鉄鋼材料の入手が困難であったことが大きい。従って、施工品質に問題がなかったとしても単に工事の遅れを理由として、企業者はWSCを解任し、JHCと契約した。

事故などに関するヒューマンファクターのエラー防止策の一つとして、コミュニケーションの確保がある。その手段として、世にいう「報告-連絡-相談」があるが、本建設工事においてはこれらが全く欠けていたと言わざるを得ない。それらが最も重要であるにもかかわらず、むしろ無視されていた感が強い。

FF&P社はイギリスの会社で、しかも、イギリス国内では有数のコンサルタントであって、架設時の設計も考慮する鋼桁の設計・架設に十分経験のある業者でありながら、事故に至った要因として以下のこと考えられる。①オーストラリアでの工事であることから仕事を軽くみていたのではないだろうか。また、②イギリス国内の工事と同様に、設計の終了した鋼桁の架設の施工については、施工業者に全面的に責任がかけると考えていたのではないだろうか。このようなことが、FF&Pと施工業者（WSC及びJHC）とのコミュニケーション不足の理由の一つであり、積極的に施工業者にコンタクトをとろうとはしなかったと類推できる。

JHCは、当初の建設工事契約からも分かるように、コンクリート構造物施工の専門業者であった。本橋の架設工事を契約するに際しては、労働者の管理（工事管理、架設作業業務）を中心とした契約内容で仕事を引き受けるつもりであり、橋の設計・架設には何ら責任がないという姿勢であった。そのため現場の体制は、現場のベテランである責任者は不在がちで、若い担当技術者にま

かせきりであった。そのような状況では、提案をしたり、設計計算の確認等を要求するなど、設計者のFF&Pに積極的にコミュニケーションをとろうという姿勢はなかったのかもしれない。さらに、JHCの前任者であるWSCがFF&Pに頼んで設計計算などの資料を要求しても、なかなかでてこないということ伝え聞いていたに違はなく、FF&Pとコンタクトとることが無駄であるという感覚で仕事に対処していた可能性が考えられる。

3-3. ヒューマンファクターの分析

この事故の直接の原因は、ブロックを接合している『ボルトを撤去』したことであるが（下のフロー参照）、その作業行動を分析し、ヒューマンファクターを洗い出すことも可能である。

[事故発生（橋の崩壊）のフロー]

- ① 北側ブロックと南側ブロックのキャンバーが違っていた
- ② 桁に弾性的な座屈変形が生じていた。
- ③ キャンバーの違いを補正するために錘としてコンクリートのブロック（重さ 56 t）を載せた。
- ④ コンクリートのブロック（重さ 56 t）を載せることによって、上部のフランジの座屈変形（弾性的座屈変形）を大きくした。
- ⑤ 上部のフランジの座屈変形（弾性的座屈変形）が大きくなったので、コンクリートのブロック（重さ 56 t）を載せたことが適切ではないと判断した。
- ⑥ コンクリートのブロック（重さ 56 t）を除去した。
- ⑦ 次にひずみを補正する目的で、ボルト位置を替えるため、既に接合しているボルトを撤去した。（孔を空けなおし、直ちに新しいボルトを入れるつもりであった。）
- ⑧ ボルトを撤去すると、張り詰めていた歪が一部に集中し、桁の座屈は塑性変形となり、橋は崩壊・落橋した。

しかし、ここではこれらのフローから推測できるヒューマンファクターより、これら事故に至る原因を作った技術的な要因及びその技術的問題を発生させた間接的な要因（組織・体制の問題や、各組織の思惑など）が大きな要素を占めていると考える。

既に述べたような事実から、①発注者の『工事への非協力的姿勢』（工程が遅延しているだけの理由で、品質等に問題のない施工業者を解任するという）②設計会社であるFF&Pの意識と姿勢（施工は施工業者に全責任を委ね、積極的に設計上の情報などを施工業者に与えることをしない）③当初の施工会社であるWSCの工程厳守の姿勢の欠如と引継ぎ会社への丁寧な引き継ぎがあったかどうかなどコミュニケーションの欠如④引継ぎ会社であるJHCのこの工事を完遂させようという意欲の欠如など（現場の実施体制の不備や、設計会社との積極的コミュニケーションをとることをしないこと）のヒューマンファクターが考えられる。

間接的なヒューマンファクターは、実際に見えている直接的なヒューマンファクターの下に隠れているものであっても、むしろ「大きく、重大であることが多い」のである（図-4）。本事故の場合は、直接のヒューマンファクターより、間接ヒューマンファクターが様々な調査結果から、より明確になっている例といえる。

ただし、より広義の間接的ヒューマンファクターとして、経営トップの姿勢や、当時の社会情勢と社会全体の意識なども挙げることができる。これらについては、本事例においては分析することはできないが、一般的には間接的ヒューマンファクターにはこれらの要素が必ずからんでいることを忘れてはならない。

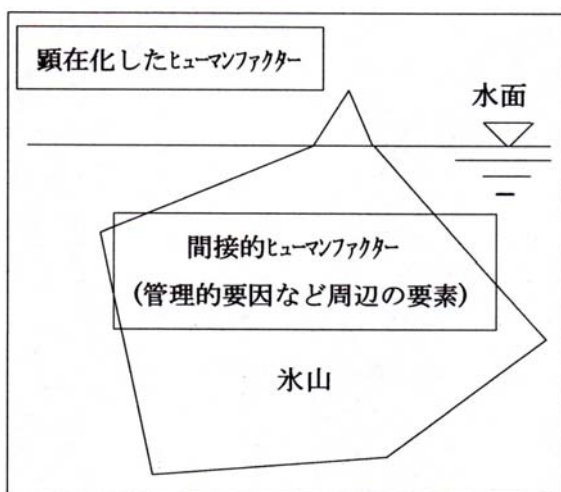


図-4 ヒューマンファクターの概念

4. 事故事例と安全教育

4-1. 大学における崩壊桁の展示

モナシュ大学は事故調査委員会のメンバーとして原因究明の実験を担当し、実物大の試験体を用いて崩壊機構の解析を実施した。土木工学科の建物の前には、事故後30年以上も経過した現在も落橋した桁そのものの残骸の一部が展示され、大学を訪問する人々に強いインパクトを与えている。筆者が約20年前に旧キャンパスを訪問した展示状況(写真-1)に比べ、新キャンパスに移設した後、説明用の展示パネルを追加してさらに整備された状態で保存展示されている。展示スペースには落橋した桁とともに、本橋で発生した座屈現象を再現したパネルや、設計変更後の鋼版なども陳列されている。

崩壊した部材を展示することについては、学生ばかりでなく大学を訪問する人々が構内にある崩壊した橋梁の実物を直接見ることによって、それを今後の事故防止の教訓にすべきであるという関係者の信念に基づいて行われたことを強調されていた。また、現在でも大学構内に保存していることについて、工学教育に役立つと信じており大変誇りに思っているとのことだった。このようにモナシュ大学においては、崩壊した桁を構内に保存・展示し、土木工学を学ぶ学生やエンジニアに対する教育活動の一助としている。工学教育の一環として事故調査の結果を公開し、技術と安全性の重要性をアピールしている姿勢は大変興味深い。

さらに、事故を起こしたという負の記憶を関係者は、最小限の公開とし、出来れば隠蔽しておきたいというのが日本では一般的ではなかろうか。これらの間接的なヒューマンファクターを明確に報告するとともに、事故の桁を大学に展示して事故原因や過去の誤りを反省し、学生への教育に利用するためにその負の遺産を永遠に展示しておこうというオーストラリアの関係者の意識に敬意を表したいものである。



写真-1 旧キャンパスの展示状況 (1983年)



写真-2 新キャンパスの展示状況 (2002年)



写真-3 落橋した桁の上フランジ



写真-4 落橋した桁の座屈状況

4-2. 安全教育

土木学会安全問題研究委員会が実施した建設業における安全教育に関するアンケート調査結果⁵⁾において、事故・災害事例を教材にすることが最も効果的であることが指摘されている。回答によれば、自社内で発生した過去の事故・災害事例を分析して安全教育の機会に利用する方法が多いようである。これは、具体性に富んだ内容となり、再発防止策に結びつける有力な教育法になり得るため、多くの会社で過去の事故・災害事例のデータベースが整備されることが望ましい。

建設分野において、社内教育のカリキュラムに取り入れられている数少ない事例として、JR東日本の「事故の歴史展示館」が挙げられる。本施設は、2002年にJR東日本総合研修センター内に設置された施設で、過去に発生した25件の重大事故について、その原因や対策等を写真入りのパネルで紹介し、更にコンピュータグラフィックスを駆使して事故の起きた背景を分析し、事故に至ったメカニズムを容易に理解出来るように様々な工夫がなされている。本施設を訪問して、このような方法は建設分野の安全教育の方向性を示唆する実施例として、極めて先駆的で貴重な存在と感じた。

5. おわりに

本事故調査やその後の対応から学ぶべき点が多い。本事故の直接的な原因は、架設時の桁剛性不足による座屈崩壊であるが、その潜在的要因として設計管理体制の欠如と発注者・設計者・施工者間の連携不足が挙げられる。その要因を分析した結果、本事故の

場合は、事故の直接的な原因である技術的要因よりも、契約・組織・管理体制などによる間接的なヒューマンファクターが重大な影響を及ぼしていることが示された。

このような事故事例に関して、技術面ばかりでなくマネジメントの観点から分析を行い、今後の教育に生かす工夫を試みることは工学分野の安全性向上を図るために有益な方法であり、今後益々必要になるものと思われる。その一例として、過去の事故・災害事例を分析して安全教育に利用することが有効な方法と考えられる。

参考文献

- 1) 前川行正・北條哲男；建設労働災害におけるヒューマンファクター，pp 344-347，第33回安全工学シンポジウム講演予稿集，2003.
- 2) 北條哲男・前川行正；建設行におけるヒューマンファクター，pp 75-78，第35回安全工学シンポジウム講演予稿集，2003.
- 3) Report of Royal Commission Into The FAILURE OF WEST GATE BRIDGE, 1971-VICTORIA, Reproduced July 2000
- 4) Graeme Burkitt ほか；ウエストゲートブリッジ，橋梁と基礎，1998-5
- 5) 広兼道幸ほか；建設業における現場での安全教育の実態，pp79-82，第35回安全工学シンポジウム講演予稿集，2004.

(2008年8月22日受付)