

カナダのデラコンコルド跨道橋の崩落事故に学ぶ

六郷 恵哲*1・羽田野英明*2・Nemkumar Banthia*3

概要 デラコンコルド跨道橋の崩落事故に関する調査委員会の報告書の概要を述べた。このコンクリート橋は、カナダのモントリオール市郊外に1971年に建設され、2006年9月30日に崩落した。橋長は60.8m、総幅員は27.4mで、20本のPCホロ桁(27.4m)が、橋台片持部材の端の桁受部(伸縮装置の直下)で支持されていた。崩落の主要因として、設計時の不適切な配筋、施工時の不適切な配筋変更、橋台への低品質コンクリートの使用を挙げ、助長要因として、厚いスラブに対するせん断補強筋の不足、床版表面への防水処理の不足、不適切な補修による損傷を挙げている。事故の再発を防止するための広範囲の勧告が述べられている。

キーワード: 橋梁崩落, 跨道橋, せん断破壊, 配筋, 凍結融解作用, 凍結防止剤

1. はじめに

落橋のような重大事故を防ぐことは、構造物の維持管理における最も重要な目標の一つである。広がったせん断ひび割れや落下したコンクリート破片を見て、あるいは構造物から生じる破壊の音を聞いて、最悪の事態に近いことを想定し直ちに使用停止の措置をとることは、コンクリート構造物の維持管理に係る技術者の役割である。建設時や補修時の記録を整備し、技術基準、材料、施工技術、使用環境の変遷を踏まえて、類似の重大事故が起こる可能性について検討し、必要に応じて対策を講じることも、維持管理に係る技術者の仕事である。

わが国では、コンクリート構造物の重大な崩壊事故は、地震や洪水によっては起こっているが、その他の原因によるものは少なく、こうした事故の情報に触れる機会は少ない。橋梁をはじめとするコンクリート構造物の年齢は着実に進んでいるが、構造物の維持管理の重要性に関する一般社会の認識は必ずしも高くなく、維持管理に使われる予算は不足がちである。

海外で起こった落橋等の重大事故について、その原因や対策の概要を分かりやすく紹介し、詳しい委員会報告書の存在を周知することが大切であり、海外を含む各種の事故から学び、わが国における類似事故の未然防止に役立てることが重要である。

ここでは、わが国の橋梁の維持・補修に関する研究者や技術者に向け、さらには一般社会に向け、カナダケベック州でのデラコンコルド跨道橋の落橋事故の概要について、この落橋事故の調査委員会から出された報告書¹⁾をもとに、その中の写真と図を用いて紹介する。

2. 事故の概要

2006年9月30日昼過ぎ、カナダケベック州モントリオール市近郊で、高速19号を跨ぐデラコンコルド跨道橋が崩落し、5名の方が亡くなり、6名の方が負傷した。崩落状況を、写真-1および写真-2に示す。

報道によると、数カ月前から崩壊が始まっていたとか、崩壊の1カ月前くらいから橋台と吊桁部との隙間が一定でなかったとか、崩壊の1時間程度前から高架橋の下側にコンクリート塊がみられたとか、崩壊の数分前に跨道橋を通過した時に30~50mm程度の路面沈下が発生していた等、跨道橋の崩落前の異常に関して複数の目撃証



写真-1 崩壊状況 (全景)



写真-2 崩壊状況 (破壊箇所)

*1 ろくごう・けいてつ/岐阜大学 工学部 社会基盤工学科 教授 (正会員)

*2 はたの・ひであき/中日本建設コンサルタント(株) 建設技術本部 技師長 (正会員)

*3 ネムクマール・バンシア/The University of British Columbia 教授



写真-3 崩壊直前の桁受部

言が得られている。

跨道橋異常の連絡を受けたケベック州交通省が、コンクリート塊を撤去し、高速道の閉鎖の必要性を確認するために巡回員を派遣したのは崩壊の30分前であった。巡回員は差し迫った危険性は無いと判断し、道路閉鎖は行われなかった。ただし、巡回員は、点検を早急に行うよう連絡し、2日後に点検員が対応することとなった。写真-3は、崩壊1時間前に撮影された桁受部側面に発生していたせん断ひび割れである。

3. 崩落の原因と提言

3.1 橋の概要と特徴

デラコンコルド跨道橋は、1971年に竣工した橋梁で、図-1～図-6に示すように、橋長60.8m、総幅員27.4m（6車線）で、支間中央部に吊桁部（27.4m）を有するコンクリート橋である。交差道路との関係から、斜角（69°30'）を有しており、縦断勾配は東側に向かって0.4%の一定緩勾配である。吊桁部は、幅1.22mで高さ1.07mのPCホロー桁を片側10本並べて横締めした構造となっている。4mの片持部を有する橋台で吊桁部が支持されたゲルバー構造となっている。

本橋は、完成時において当時の北アメリカでは、斬新なデザインであり、PCホロー桁を採用することで、中間橋脚を設けず、高速19号を横断することを可能とし

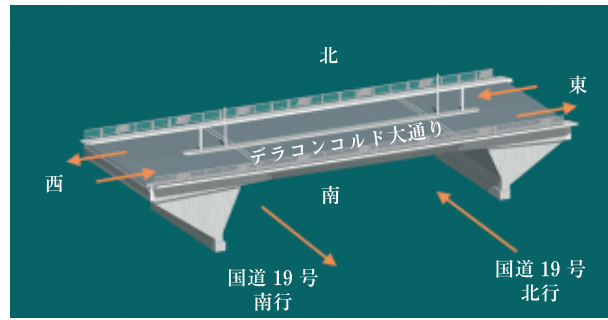


図-1 デラコンコルド橋（全景）

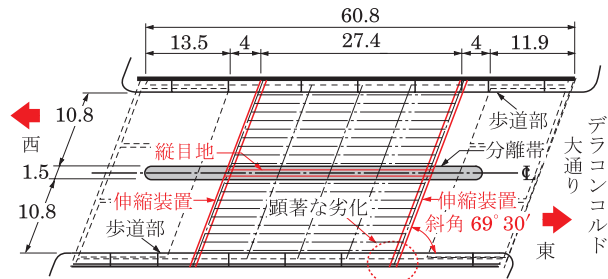


図-2 平面図（単位：m）

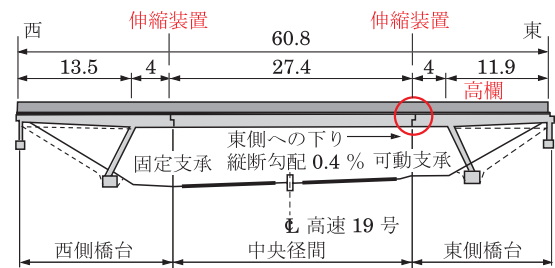


図-3 側面図（単位：m）

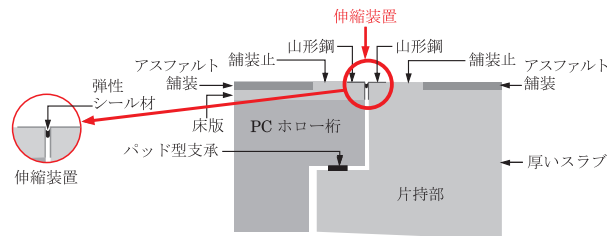


図-4 桁受部詳細

Report on the Collapse of de la Concorde Overpass in Canada

By K. Rokugo, H. Hatano and N. Banthia

Concrete Journal, Vol.46, No.12, pp.35~41, Dec. 2008

Synopsis The outline of the report of the commission of inquiry concerning the collapse of the “de la Concorde overpass” was described here. This concrete bridge was constructed in 1971 in the suburbs of Montreal in Canada and collapsed on September 30, 2006. The total length and the width were 61.8 m and 27.4 m, respectively. Twenty PC hollow girders (27.4 m) rested on beam seats located at the ends of the cantilevers of the abutments, directly under the expansion joints. The improper rebar detailing during design, the improper rebar installation at the time of construction, and the low quality concrete used for the abutments are pointed out as the principal physical causes. The lack of shear reinforcement in the thick slab, the absence of an adequate protection of the thick slab against water, and the damage caused during the repair work are mentioned as the contributing physical causes. Wide ranging recommendations to prevent similar accidents are described.

Keywords : bridge collapse, overpass, shear failure, rebar installation, freeze thaw cycles, de icing salts

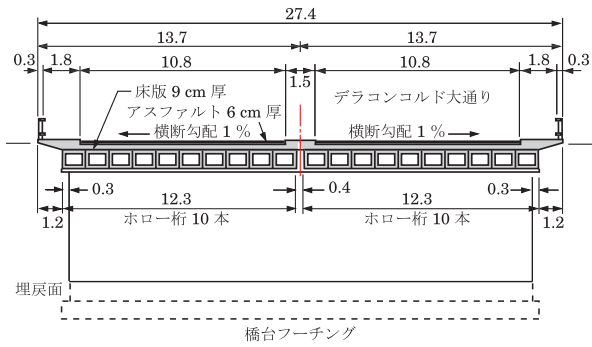


図-5 断面図 (単位: m)

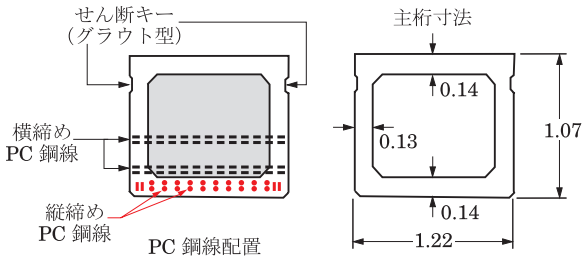


図-6 ホロー桁断面図 (単位: m)

た。また、ホロー桁を並べて設置する構造として支間中央部の桁下面を均一とし、橋梁全幅にわたる梁構造の桁受部で支持する構造として構造高を低くし、桁下を通過する高速19号線の開削深さを浅くしている。

図-4に示した本橋の桁受部の先端部分は、特に複雑な荷重伝達領域であるにもかかわらず、伸縮装置の損傷により止水機能が失われた場合には、この部分には水や泥、および凍結防止剤の塩分等が堆積しやすくなる。しかしながら、この沓座部分は、桁をリフトアップしない限り、点検や維持管理ができず、構造上の脆弱性を進行させることとなる。点検のためには、ホロー桁をリフトアップする必要があり、本橋と本橋が跨ぐ高速19号の両方の交通止めを行う必要があり、現実的には点検作業は不可能な状況にある。

橋梁のように凍結融解作用や凍結防止剤の塩分にさらされるような構造物では、防水層を設置して、コンクリートを劣化させる水分や塩分の浸透を防止する必要がある。防水層の設置は、跨道橋が建設された当時では標準的ではなかった。橋の大掛かりな補修が実施された1992年には、現在の防水層の仕様が設定されていたが、本橋には防水層は設置されなかった。

図-2に示した劣化が著しく崩壊の起点となった箇所には、以下のような特徴がある。

- 斜角構造を有する桁受の鋭角部であり、吊桁部における反力が卓越する鈍角部を受けている。
- 縦断勾配が0.4%と緩く排水性が良好でなく、該当箇所は縦断の低い側に位置する。
- PCホロー桁が並列した構造のため、排水管の配置が難しく融解した雪水等の排水性が十分でない。

なお、本跨道橋が架かるケベック州南部の気候は、季

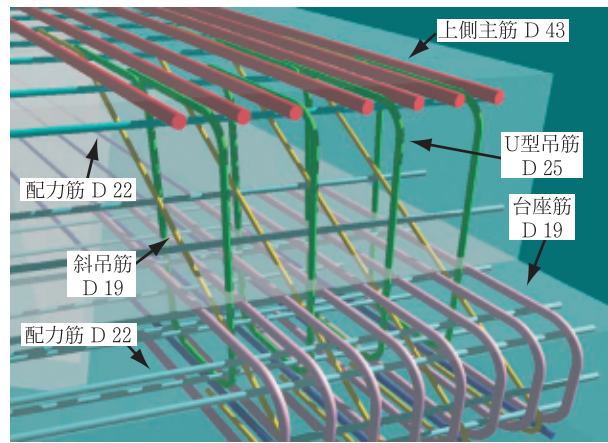


図-7 桁受部配筋計画

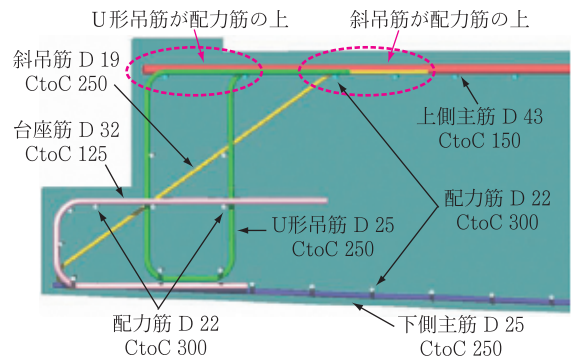


図-8 設計図による配筋

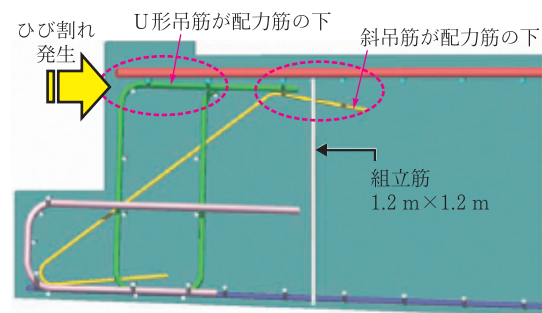


図-9 施工された配筋

節により温度差が極端に大きくなる特徴があり、厳冬では年間平均3メートルの降雪を記録し、1月の平均最低気温は -15°C と低く、夏場の平均最高気温は 26°C と寒暖の差が著しい地域である。

3.2 崩落の原因

事故調査委員会では、この崩落事故は、単独の要因で発生したものではなく、複数の要因、すなわち現時点では不十分とされる当時の設計基準の適用、設計内容、施工と施工監理、および供用期間中の不適切な維持管理等の各種の要因が重なって発生したと結論づけている。力学的には桁受部がせん断破壊したことにより橋梁が崩壊したということで、専門家の意見は一致している。図-7～図-9に崩落した桁受部の配筋状況を示す。

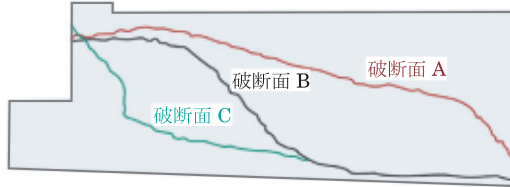
1) 主要因

- 不適切な配筋

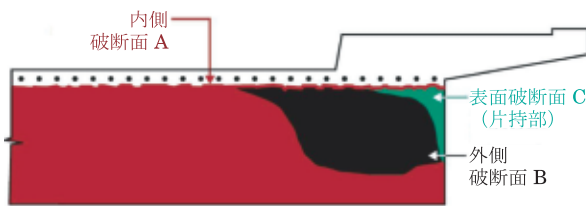
崩壊以前のひび割れ面と思われる変色した表面



(1) 崩落した桁受部の破断面



(2) 破断面分布(橋軸方向)



(3) 破断面分布(横断方向)

図-10 桁受部の崩壊状況

図-7および図-8に示すように橋台天端の同一面に多数の鉄筋が集中し、上側主筋 D 43 が先端部でフック定着されておらず、水平ひび割れが発生しやすい弱い面を有する設計であった。また、本橋では U 形吊筋 D 25 は上側主筋 D 43 を囲まず、配力筋 D 22 を囲むように配筋されていたが、最新の設計基準の構造細目では、U 型吊筋 D 25 は上側主筋 D 43 を囲むようなフック形状とするように規定している。

・施工時の配筋変更

施工された桁受部の配筋は、図-9に示すように同一面での過密配筋は変わらず、さらに弱点となる潜在的な水平面が存在するように変更されている。U 形吊筋と斜吊筋の不適切な配筋が、厚いスラブの中に弱点面を発生させている。

・低品質のコンクリートの使用

橋台に使用されたコンクリート（水セメント比 56%）は、適切な空気泡の連行が不足しており、凍結防止剤が散布される環境下での耐凍害性が不足していた。図-10に桁受部の崩壊状況を示す。

なお、図-9に示した水平ひび割れの発生原因としては、以下のような要因を指摘している。

- ・ U 形吊筋の上側に存在する弱点部
- ・ 塩分を含む凍結融解作用によるコンクリート劣化
- ・ 橋軸方向鉄筋位置でのコンクリートの乾燥収縮
- ・ コンクリートの硬化、直射日光等に起因する熱応力
- ・ 伸縮継手部の通過車両による繰返し衝撃作用
- ・ U 形吊筋 D 25 と上側主筋 D 43 の腐食

2) 助長要因

- ・ 厚いスラブにおけるせん断補強の欠如

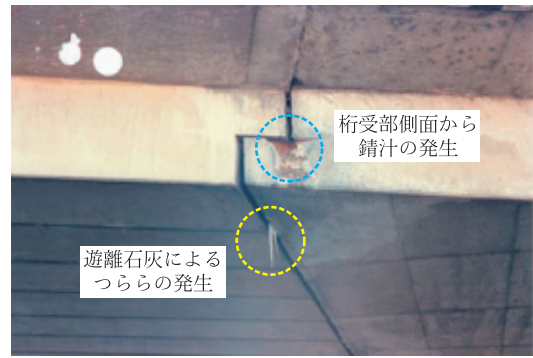


写真-4 桁受部の状況 (1985年)



写真-5 桁受部の状況 (1992年)

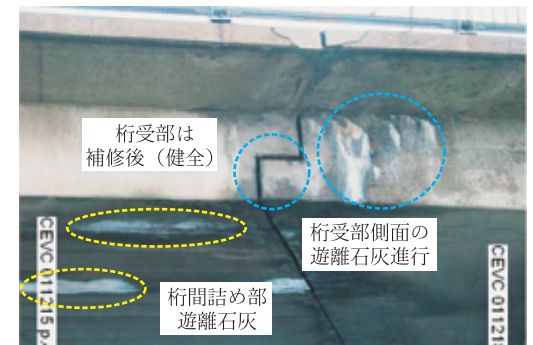


写真-6 桁受部の状況 (2004年)

本橋の桁受部スラブは、現行基準ではせん断補強を検討する必要があり、せん断補強筋が配置されていれば弱点領域や内部ひび割れが発生せず、脆性的な崩壊には至らず、最悪の状態においても、徐々に変形が進行する劣化であったと考えられる。

・床版の表面への防水処理の不足

1992年の補修時に実施された床版上面での不適切な補修がコンクリートの劣化を進行させた。写真-4～写真-6に桁受部の劣化進行状況を示す。写真-5と写真-6の遊離石灰等の析出状況の比較から、桁受部の上面での劣化進行が確認できる。伸縮装置の止水機能が保たれ、防水層が施工され、水の浸透が防止されれば、凍結融解作用によるコンクリートの劣化は発生せず、写真-6のような劣化進行は無かったものと推察される。

・不適切な1992年の補修による損傷

1992年の補修では、桁受部上面のコンクリート表面

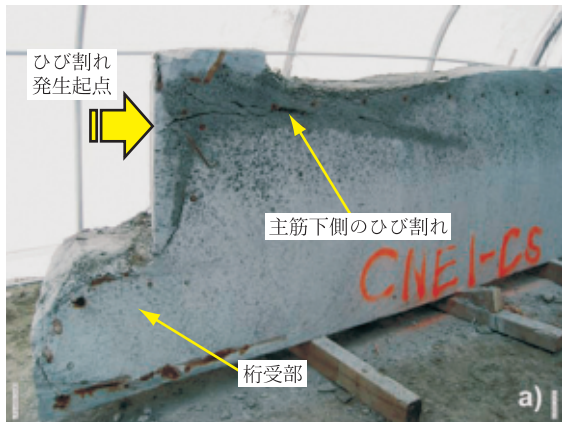


写真-7 崩壊部切断面（橋軸方向）

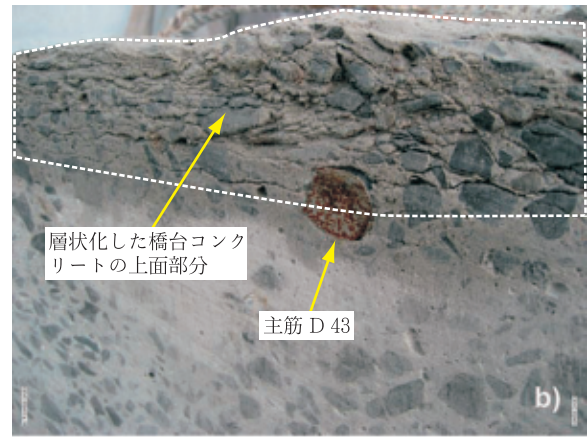


写真-9 崩壊部切断面（横断方向）

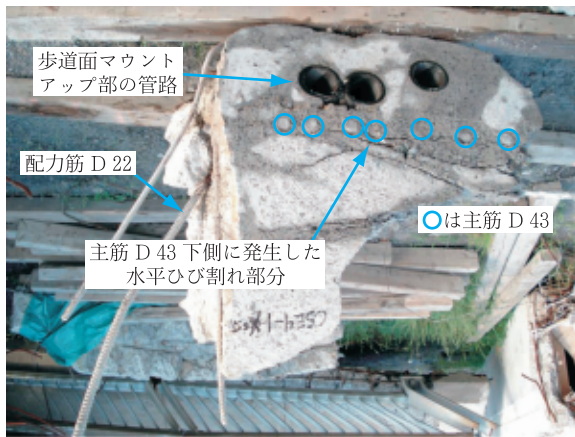


写真-8 崩壊部切断面（横断方向，写真の上下はあえて逆）

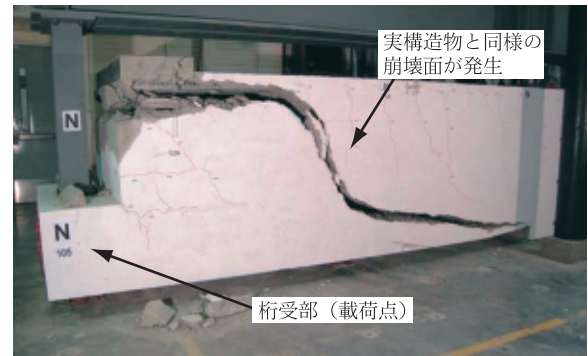


写真-10 崩壊確認試験

の著しい劣化が発見され、当初計画よりも広範囲にわたって被りコンクリートが除去され、U型吊筋と上側主筋が露出状態となった。これによりコンクリートと上側主筋の付着が失われ、片持部の全体に分布している既存のひび割れの成長を助長したと推察された。

写真-7～写真-9に、崩落箇所の切断面で観察された上側主筋に沿って発生した水平ひび割れ面を示す。写真-9には、桁受部上側主筋の被りコンクリートが、凍結融解作用により層状化し、主筋の腐食が進行している状況を示す。防水層の重要性を示す貴重な状況写真である。

また、写真-10には、室内試験で再現された同様の部材のせん断破壊状況を示す。

3.3 提 言

事故調査委員会は、調査結果を踏まえ、設計基準や維持管理マニュアルの改訂、施工監理を含めた構造物の設計や施工の法的規制の変更、ケベック州の交通省(MTQ)の管理や、ケベック州内の橋梁(約12,000橋)に対する再建・復興プログラムの提案も含み、多岐にわたり、以下のような17項目について勧告を行っている。

- ① 厚いスラブにおける最小のせん断補強鉄筋量の規定(CSA-S 6-2006)の改定
- ② 橋梁に使用するコンクリートの品質規定の改訂
- ③ 橋梁技術者に対する最新技術の教育
- ④ 交通省の検査マニュアルの改訂

- ⑤ 建設コンサルタントの選定方法の改定
設計や施工監理を委託する会社と技術者の技術力と過去の同種業務の実績を優先して評価
- ⑥ 委託業務成果に対する確実な検証の実施
構造設計結果に対する照査契約条項の見直しや別組織による検証の実施
- ⑦ 事前資格審査による施工業者の選定
業者選定時に、工事実績、施工能力、品質管理システム、独自技術を評価する事前資格審査制度の採用
- ⑧ 各業務ごとの専任技術者の確保
- ⑨ 下請業者に対する適切な品質管理の指導
- ⑩ 構造物の施工記録の保管と維持
- ⑪ 工事完了時の施工監理者と施工業者の成績評価
- ⑫ 交通省における業務実施体制の改善
- ⑬ 構造物の維持管理記録のデータベース化
- ⑭ 出先機関と本省構造部門の役割分担の明確化
- ⑮ 構造点検マニュアルへの項目追加
- ⑯ 地方道路網に対する維持管理体制の見直し
構造物の点検、維持管理、補修は、州政府(交通省)が行い、地方自治体は、街路灯、標識、歩道の維持管理、除雪作業のみを実施
- ⑰ 政府による橋梁修繕の全国的な優先順位の設定
2005年で50%前半にある健全な橋梁の比率を、最終的に80%までに向上

既存構造物の修繕と再構築に対し10年間にわたって年5億ドルの継続的な予算措置

これらの提言は、わが国においても十分に検討に値するものである。

4. Banthia のコメント

4.1 事故の影響

この事故は、専門技術者と一般社会のカナダの橋梁の安全性に関する認識を一変させた。この事故は、一般社会に、カナダの社会基盤施設の悲惨な状況を知らしめるとともに、カナダの建設業界の能力と信頼性に不安を抱かせた。一方、この事故は、専門技術者に現在の課題を気付かせ、解決するよう仕向けた。このことは、この惨事がもたらしたプラスの面であろう。

さらに、この事故に関する現在進行中の訴訟と市民の安全を確保できない行政に対する社会の怒りは、行政、特にケベック州の行政に優先事項の変更を余儀なくさせた。公共施設の安全性を評価し公表し、交通省にその行動の責任をとらせるよう、交通省から独立した高度な権限を持つ機関を作ることが検討されている。

コンクリートの研究に関する研究資金（政治的意思でもある）は年々減少している。しかし、構造物の先端的な診断、IT 技術を活用した構造物モニタリング、先端的なセンサの開発と構造物への適用、コンクリート構造システムの耐久性評価、構造寿命解析、耐久性設計と構造設計の統合、繊維補強ポリマーのような代替補強材の使用といった分野では、この事故を受けて、研究資金が増えている。

4.2 日本の技術者の方々へ

カナダと日本の構造物診断のための技術は、残念ながら、まだ極めて低いレベルのままである。X 線、電磁波、弾性波、電磁誘導を用いた方法を含む先端診断技術を確立し、コンクリート構造物へ適用するために、一層の研究が必要である。

構造物の劣化については、しっかりと監視する必要がある。日本の場合、地震の活発な地域のカナダの州の場合と同じように、人命と財産を失う可能性の高い地震その他の大災害に対する耐荷力を、構造物の劣化が大幅に弱めている。

費用対効果に優れ使いやすく丈夫で信頼できる非破壊検査技術と健全度モニタリング技術の開発を目指して、カナダと日本は協力しなければならない。現在の構造物診断技術を調査し、今後進むべき方向を探るため、カナダと日本が共同ワークショップを開くことを提案する。

5. 六郷・羽田野のコメント

デラコンコルド跨道橋の崩落事故から、次のような事項を学ぶことができる。

- ・点検担当者を含む維持管理関係者は、広がったせん

断ひび割れを見て、崩壊が緊迫していると判断できる必要がある。

- ・この跨道橋の桁受部のように、点検し難い部位では、部材変状の進行を点検で確認できないため、劣化の発見が遅れ、大事故になる可能性がある。橋梁計画時には、完成後の維持管理に配慮し、点検しやすい構造を採用する必要がある。
- ・古い基準で造られた厚い部材（特にスラブ状のもの）で、せん断補強筋が不足する構造では、コンクリートが劣化するとせん断破壊が生じ、建設から数十年後に崩落に至ることがある。
- ・コンクリートの劣化部分の補修では、鉄筋の周りのコンクリートを除去して新たにコンクリートが打設される。しかし、補修時には鉄筋が負担していた荷重をコンクリートが負担する状態となり、補修後には、打継部は新旧コンクリート間の付着力は小さく内部欠陥となりやすい。このため、コンクリートの除去範囲には留意する必要がある。
- ・コンクリート表面が水分や凍結融解作用を受ける状況に曝される場合には、防水層を設けることが、部材劣化を防ぐ上で非常に重要である。また、凍結防止剤を使用する地域では、その塩分によるコンクリートの劣化に注意する必要がある。
- ・伸縮装置の直下にある沓座近傍は、伸縮装置の止水機能の喪失により、劣化が進行しやすい。伸縮装置が損傷した場合、伸縮装置を取り替えるだけでなく、伸縮装置直下の部材の点検を入念に実施し、劣化の状況を把握する必要がある。
- ・橋面の雨水や雪解け水を適切に排水することが重要であり、縦断勾配が緩く滞水しやすい橋面では、排水に特に留意する必要がある。
- ・長期にわたり適切な維持管理を実施していくために、当初建設時の記録、供用途中での補修記録等の関連書類を確実に残して保存していくことが重要である。

6. おわりに

ここでは、わが国の橋梁維持に関係する研究者や技術者に向けて、カナダケベック州でのデラコンコルド跨道橋の落橋に関する委員会報告書の概要について述べた。

この落橋事故については、事故の直後には、インターネット上でもたくさんの情報があり、日経コンストラクション（2006.11.10号）でも紹介された。しかし、その後の情報は、ほとんど見かけなくなった。詳しい報告書があることを知っていれば、探して見つけることは比較的やすい。しかし、その存在を知らなければ、入手することは思いもよらない。

同じように、重大な事故とその原因を知っていれば、類似の兆候を見て重大な事故に発展する可能性を危惧することができるが、知らなければ想像が及ばない。落橋

のような人的な被害が大きな事故は、起きてほしくないし、極力防ぎ、減らしたい。稀にしか起きないこうした重大な事故については、海外や過去に起こったものも含めて、なぜ起こったか、どうしたら再発を防げるか等、できるだけ多くの技術者が学び考え、再発防止に役立たいものである。一般社会に対して構造物の維持管理の重要性を示す際の情報としても活かすことが望まれる。

この報告書および関係記事は、以下の URL にて公表されているので、参照願いたい。

http://www.cevc.gouv.qc.ca/UserFiles/File/Rapport/report_eng.pdf (報告書)

http://en.wikipedia.org/wiki/De_la_Concorde_overpass_collapse#cite

この報告書は、全 222 ページの資料であるが、先頭部の 15 ページに報告書の要約が示してあり、その部分を読むだけでもおおむねの状況を把握でき、鮮明な写真や図

を用いて、わかりやすく説明されているのが特徴である。

また、多くの関係者の証言を聴取し、組織や個人の実名まで挙げて、各々の責任を明確に指摘し、事故の再発を防止するために、政府組織の体制の改革や、発注体制の見直し、具体的な予算確保までの踏み込んだ勧告をしているのも特徴である。これは、Pierre Marc Johnson 委員長が法律分野出身の政治家であるためと思われる。聴取の様子はビデオで公開されている。

この報告書は、わが国での同様な事故調査時の体制整備や報告書作成時におおいに参考となる資料と思われる。本報告が、今後の橋梁の維持管理の関係者の一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) Pierre Marc Johnson et al. : Commission of Inquiry into the Collapse of a Portion of de la Concorde Overpass, REPORT, October 3, 2006-October 15, 2007, ISBN 978-2-550-50961-5

◀ 図 書 案 内 ▶

コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する シンポジウム 論文集

JCI では平成 18 年度から「コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する研究委員会」を設置し、コンクリートの耐凍害性を適切かつ簡易に評価できる手法の検討を主目的に活動を開始しております。今回委員会活動の一環として、最新の研究成果を集めること、既往の研究成果の集約を図ること、関連の研究者間の情報交換の場を設けること、などを目的にシンポジウムを開催しました。本書は 2006 年 12 月 6 日に開催されました「コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関するシンポジウム」において発表された論文を収録したものです。

- | | |
|---|-----------------|
| 1. 水力発電設備の凍害被害状況について | 成田 健 (東北電力) |
| 2. 凍害に対する地域条件評価指標の検討 | 長谷川拓哉 (北海道大学) |
| 3. 寒冷地における海洋コンクリートのスケリングに関する研究 | 加藤利菜 (北見工業大学) |
| 4. コンクリートのスケリングにおける蓄積された融雪剤の希釈的な特性と劣化の数量的考察 | 高科 豊 (神戸市立工業高専) |
| 5. スケリング劣化抵抗性の予測・判定手法の一提案 | 遠藤裕丈 (土木研究所) |
| 6. 限界飽水度法を用いたコンクリートの耐凍害性評価 | 千歩 修 (北海道大学) |
| 7. 各種減水剤を用いた AE コンクリートの凍結融解抵抗性 | 近松竜一 (大林組) |
| 8. ポゾラン高含有セメントを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性に関する一考察 | 桜井邦昭 (大林組) |
| 9. 高吸水率細・粗骨材の使用がコンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす影響 | 麓 隆行 (近畿大学) |
| 10. 表層部緻密化コンクリートの凍結融解抵抗性に関する実験的研究 | 菅原 隆 (八戸工業高専) |
| 11. 超音波法によるコンクリート製水路の凍害診断 | 緒方英彦 (鳥取大学) |
| 12. 超音波伝播速度測定による実コンクリート構造物の凍害深さ推定について | 林田 宏 (土木研究所) |
| 13. 凍害劣化深さを指標としたコンクリートの耐久性評価 | 阿波 稔 (八戸工業大学) |
| 14. 凍害によるスケリングの評価方法に関する一考察 | 添田政司 (福岡大学) |
| 15. 凍結融解試験法の違いによる塩化物作用下でのコンクリートの耐凍害性評価 | 権代由範 (八戸工業大学) |
| 16. コンクリートの凍結融解試験方法の合理化に関する検討 | 伊藤純平 (横浜理化) |
| 17. 凍結融解試験における測定方法の相違が試験結果に及ぼす影響 | 近松竜一 (大林組) |
| 18. 骨材の簡易凍結融解試験法の検討 | 片平 博 (土木研究所) |

A 4 判・110 ページ (2006 年刊行) / 定価 4 200 円 (税込), 会員特価 3 780 円 (税込) / 送料 340 円

● 申込先: (社)日本コンクリート工学協会「書籍販売」係

〒102-0083 東京都千代田区麹町 1-7 相互半蔵門ビル 12 階 / 電話 (03) 3263-1573
