

クロアチアでのコンクリート構造物の耐久性と保全に関するシンポジウムに参加して

二井谷 教治 *1・池田 尚治 *2

1. はじめに

2004年10月21日から23日にかけてシンポジウム「コンクリート構造物の耐久性とメンテナンス」(Durability and Maintenance of Concrete Structures)がクロアチアのドゥブロヴニクで開催された。この会議に参加したので、その概要について報告する。

2. シンポジウムの開催地

山口大学の宮本文穂先生、それと筆者らで会場近くの海岸沿いを散策しているときのことであった。「Durability, Ultimate Behavior, Repair Operation, Verification, Necessary Information, Knowledge とは何のことだかわかりますか？」



図 - 1 クロアチアとドゥブロヴニク



写真 - 1 ドゥブロヴニクの old city

と筆者のひとりから質問が投げかけられた。やはり会議のテーマに関係したことだと考え「Maintenance of Bridges でしょう。」との答えが得られた。そのとおりではあるが実は、答えはこのシンポジウム開催地のドゥブロヴニク "Dubrovnik"であった。読者の皆さんはすでにおわかりと思うが、頭文字をならべると "Dubrovnik"になる。

図 - 1 と写真 - 1 に示すように、ドゥブロヴニクは、アドリア海東岸に面した美しい中世の城郭都市である。12～17



写真 - 2 Welcome Reception の会場付近 (夜景)

表 - 1 参加者数と講演論文数

国名	参加者	論文数
Croatia	113	32
Austria	22	8
Romania	6	4
Czech. Rep.	5	2
Korea	5	3
Greece	4	3
Denmark	3	2
Germany	3	3
Hungary	3	2
Japan	3	2
Slovenia	3	4
Egypt	2	2
Holland	2	2
Norway	2	1
others	11	11
合計 33 カ国	187 人	81 編

*1 Kyoji NIITANI : オリエンタル建設(株) 技術研究所

*2 Shoji IKEDA : (株) 複合研究機構, 横浜国立大学 名誉教授

世紀にかけて建設された城壁や塔などの構造物が当時に近い状態で保存されていて、世界遺産にも指定されている。アドリア海に面しているため気候も穏やかで、会議の開催された10月でも海水浴を楽しんでいる人達の姿も見うけられたほどだ。

会議は、城郭のある old city から 16 km ほど離れた Cavtat の Hotel Croatia で開催された。シンポジウム初日の夕刻に開催された Welcome Reception では、参加者はバスに揺られて夜の城郭都市に案内された。幻想的な夜景とアトラクション（写真-3）で、しばし中世の幻想に浸りながら、城壁の中の教会で地中海のワインが供された。



写真-3 Welcome Reception でのアトラクション

3. シンポジウムの概要

開催期間：2004年10月21日～23日
 開催地：クロアチア，ドゥブロヴニク
 基調講演：5編
 一般講演：5トピックス 81編
 会議参加国：33カ国 187名

このシンポジウムは、クロアチア構造技術協会（Croatian Society of Structural Engineers）とオーストリアコンクリートおよび建設技術協会（Austrian Society for Concrete and Construction Technology）主催の会議で、毎年1回開催されている。ただし、テーマは毎回変わり「Durability and Maintenance of Concrete Structures」は4年に1回開催されている。ちなみに、次回のテーマは「Bridge」が予定されている。

参加者は東南ヨーロッパの国々からがほとんどで、日本からの会議参加者は、先ほど紹介した3名だけであった

4. セッション概要

今回のシンポジウムでは5トピックスが設定され、基調講演5編と一般講演81編の講演論文が12のセッションにより発表された。シンポジウムの日程を表-2に、基調講演の一覧を表-3に示す。以下に、基調講演のうちいくつかについて、その概要を紹介する。

なお、宮本先生からは、日本におけるBMS（Bridge Management System）に関する取り組みが紹介され、活発

表-2 シンポジウムの日程

10/21	
10:00 ~ 13:00	オープニングセッション 基調講演
14:30 ~ 16:30	セッション1a 計画およびコンセプト セッション1b 建設方法および材料
17:00 ~ 18:00	セッション2a 計画およびコンセプト セッション2b 建設方法および材料
19:00 ~ 22:00	Welcome Reception
10/22	
9:00 ~ 11:00	セッション3a 設計および解析 セッション3b 建設方法および材料
11:30 ~ 13:00	セッション4a 設計および解析 セッション4b 供用中のメンテナンス
14:30 ~ 16:30	セッション5a 設計および解析 セッション5b 再建設およびコスト予測
17:00 ~ 18:00	セッション6a 設計および解析 セッション6b 再建設およびコスト予測
20:00 ~ 22:30	Gala Dinner
10/23	
11:00 ~ 13:00	Technical Visit Dubrovnic Cable Stayed Bridge

表-3 基調講演

K 1	Jure Radic (Croatia) 構造工学におけるクロアチアの足跡
K 2	Dubravka Bjegovic (Croatia) 構造物の耐久性に向けての耐久的材料
K 3	Steen Rostam (Denmark) コンクリート構造物の耐用年数設計 ～品質向上のための変革
K 4	Pierre - Claude Aitcin (Canada) 耐久的な構造物を建設するための高性能 コンクリートの養生
S	Mario Crnjak (Croatia) クロアチアにおける最近の高速道路網の発展

な討議が行われた。筆者らは、わが国におけるPC道路橋の床版の間詰部の損傷例について発表した。

4.1 構造工学におけるクロアチアの足跡

まず、このシンポジウムの chairman であるザグレブ大学の Jure Radic 教授から、クロアチアの構造物の歴史について紹介された。

現存する著名な歴史的構造物のなかで最古のものの一つに Pula の円形劇場（写真-4）がある。1世紀のローマ帝国時代に建造された構造物で、現存する中で6番目に大きい円形劇場である。

写真-1, 2でも紹介したドゥブロヴニクの要塞や城壁は中世に建造された文化遺産である。現在のクロアチアの国

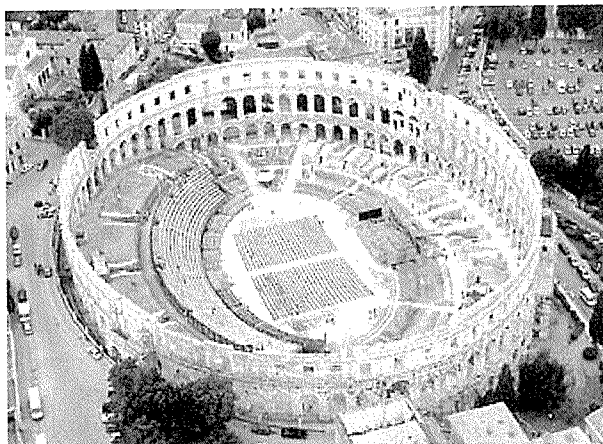


写真 - 4 Pula の円形劇場

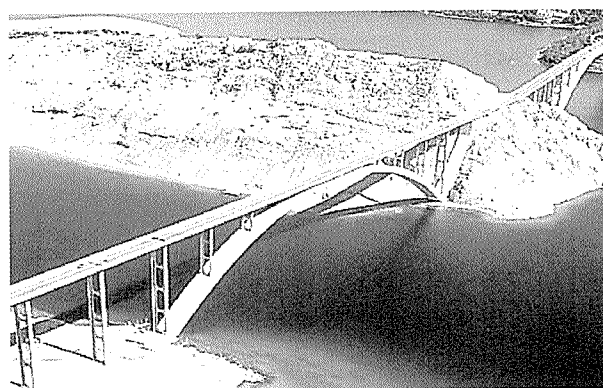


写真 - 5 Krk bridge (courtesy of J.Radic)



写真 - 6 独立戦争によって破壊された橋梁 (courtesy of J.Radic)

土は、この時期トルコにより征服されたが、ドゥブロヴニクは独立を守ったこともあって、当時のままの建造物が残されている。

第二次世界大戦後、多数の建造物が建設された。その中で特筆すべきはコンクリートアーチ橋である。1980年に完成したKrk bridge (写真 - 5) は、張出し工法によって施工された支間 390 m の橋梁でコンクリートアーチ橋としては、しばらくの間世界一の支間を誇った。この他にもクロアチアには比較的多くのアーチ橋が見られるが、海岸線に沿った土地が岩質であることも一つの要因であろうと筆者

は感じた。

1991年から1995年にかけて独立戦争が勃発し、数多くの建造物が破壊された。橋梁に関しては100橋以上が破壊あるいは損傷を受けた。それらの橋梁の再建は現在も続いている。また、セルビアによる抑圧から解放されると同時に高速道路網の計画および建設に着手した。

4.2 コンクリート建造物の耐用年数設計

デンマークのSteen Rostamからは、Service life design (耐用年数設計)の重要性について注目すべき発表があった。技術の進歩により、過酷な環境下でも耐久なコンクリートを造ることは、意外とたやすいこととなってきた。しかし、本来の目的は信頼性および耐久性のあるコンクリート建造物を造ることであり、決して容易ではないことが説明された。耐用年数設計の難しさの原因および注意点、耐久性に関する技術開発などについて、彼の論点を以下に列挙する。

まず、耐用年数設計に関する困難さおよび問題点について紹介する。これまで、建造物の設計は耐荷力に関する検討に偏重していた。近年、耐久設計の概念が導入されてきたが材料的な検討が主で、建造物としての耐久性の検討が十分といえない。また、耐久性に関する設計段階で、コンクリートの品質と性能に関して希望的考えに基づいているが、実際は施工によってコンクリートの品質と性能は左右されることに注意する必要がある。

次に、研究開発に関する問題点について紹介する。かぶり厚さやひび割れ幅が耐久性確保の指標となっているが、実際の劣化機構に基づいた研究による裏づけが十分であるとはいえない。被覆鋼材、コンクリート被覆、電気防食工法、非鉄補強材など対策工および材料が開発されているが、効果についてはまだ不明な点が多い。フライアッシュ、シリカフェームなどの混和材や高性能混和剤の開発研究が進み、劣化因子の進入に対する抵抗性の高いコンクリート、いわゆるハイパフォーマンスコンクリートが開発されてきた。ところが、自己収縮や水和熱による初期ひび割れのリスクが増加したり、アルカリ性が若干低下するなど、耐久性に関するマイナス要因もあることを正しく理解することが必要である。

実践における“耐久的建造物”の定義は難しいが、耐久性設計の方策としては、次の3つがある。1つ目は、最大ひび割れ幅、最小かぶり厚、最大水セメント比などを制限したり、セメント種類や養生方法を規定したりする、いわゆる“仕様規定設計法”であり、CEB - FIP Model Code 1990やEurocode 2などで採用されている。2つ目は、第二世代の耐久設計手法といわれている“多段階保護設計手法”あるいは“多層保護設計手法”である。適切な対策のいくつかを組み合わせる手法であり、デンマークのGreat Belt Link (写真 - 7)の建設に初めて導入された。3つ目は信頼度手法に基づく耐用年数設計である。構造設計において確立されてきた、確からしさおよび信頼性理論に基づく設計手法が、ここ数年の間に耐久性設計にも適用される動きが出てきた。この手法の利点は、たとえば鋼材腐食の発生リスクの可能性を建造物の重要度などに応じて設定すること

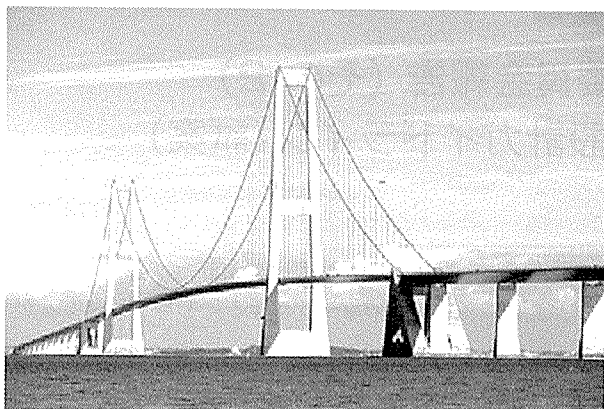


写真 - 7 Great Belt Bridge

で、リスクの程度に応じたかぶり厚さを選定できる。さらに発展させれば、ライフサイクルコストの最適化も可能となってくる。

コンクリート側以外からの防食対策について考える。コンクリートあるいは鋼材の被覆、腐食抑制剤、電気防食、非鉄補強材、ステンレス鋼材などの工法および材料が挙げられるが、ここでは、エポキシ被覆鉄筋とステンレス鋼材について述べる。

エポキシ被覆鉄筋は、新しい防食対策技術として1970年代に北米で導入された。ところが、1990年代初頭から、被覆のピンホールや損傷部分からの腐食によって、コンクリート構造物の劣化が報告されるようになり、使用が下火になっていった。ヨーロッパでも一部で導入されたが、鉄筋のピンホール、端部あるいは損傷部の処理や電気防食が適用できないなどの問題から普及するには至らなかった。

ここ数年、ステンレス鉄筋は普通鉄筋と同程度の鋼材径および強度のものが商業ベースで利用可能となってきた。ステンレス鉄筋を腐食環境で使用した場合、普通鉄筋を使用してその他の対策を行った場合と比較して、初期コストは同程度で、ライフサイクルコストは低減できる。さらに、ステンレス鉄筋を普通鉄筋と併用した場合でも、コンクリート中では同程度の電位になるため、異種金属間腐食の危険性もない。実際、メキシコ湾に並列して建設されたコンクリート橋脚についてみれば、普通鉄筋を使用したものは建設35年後には残骸になっているのに対し、ステンレス鉄筋を使用した橋脚では65年経った今も健全である。そのほかにも、最近では普通鉄筋にステンレス鋼を被覆したものや、ステンレス鉄筋と同様に腐食しにくい特殊合金の開発などが紹介されている。

5. Technical Visit

シンポジウムの最終日に橋梁視察が開催された。訪れた橋梁は、2002年5月に開通したDubrovnik Bridge (写真-8, 9)で、クロアチアで初めての斜張橋である。



写真 - 8 Dubrovnik Bridge

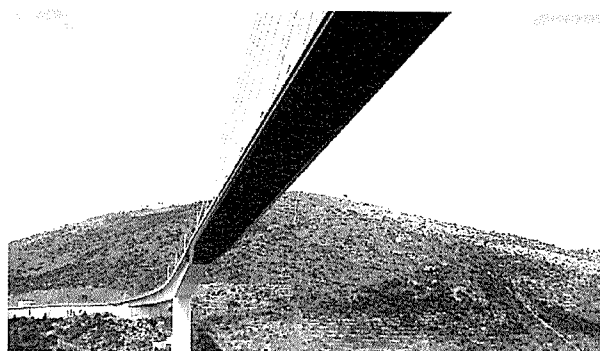


写真 - 9 下からの Dubrovnik Bridge

橋長は472.1 mで、147.4 mのPC1室箱桁部と324.7 mの斜張橋部がヒンジで連結された複合橋梁で、幅員は12.6～16.25 mである。斜張橋の桁は鋼2主桁とコンクリート床版の合成構造である。橋梁の架設位置は、強風および地震の発生地域であるため、十分な解析が行われ、橋台とPC桁との接合部などには、ダンパーが設置されている。変位、変形および動的挙動などに関する試験が行われたが、解析とよく一致した。

6. おわりに

今回のシンポジウムは、クロアチアとオーストリアの共催で、アットホームな雰囲気が漂っていたが、これまで触れる機会の少なかった国々の技術者と交流でき非常に有意義であった。

独立戦争終了から10年も経っていないが、シンポジウム期間中は戦争の傷跡もまったく目にする事なく、平和な雰囲気に包まれていた。ただ、戦争によって破壊された構造物の修復が今も続いていることを知り、傷跡が今もどこかに残っていることを知らされた。また、日本同様、クロアチアでも橋梁の劣化が進んでおり、本文でも紹介したKrkのアーチ橋でも、今は全面的に補修工事が行われており、これに関する発表が行われた。改めて耐久性の重要性を実感する機会でもあった。

【2004年12月22日受付】