

# ヨーロッパ国際コンクリート委員会 (CEB)

## 第26回総会報告

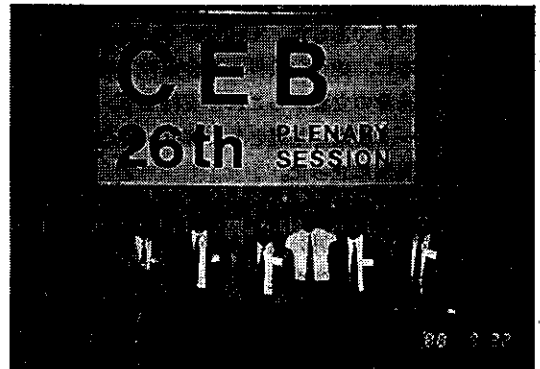
前 川 宏 一\*

### 1. はじめに

1988年9月20日から23日にかけて、ユーゴスラビアのドブロブニクにおいて、第26回ヨーロッパ国際コンクリート委員会(CEB)総会が開催された。また、これに先立ち9月16日から19日にわたり、CEB内の各小委員会と作業部会が開催され、1990年に発行予定のCEBモデルコードの改訂作業が精力的に行われた。これに対する討議、日本における示方書や技術の紹介等を目的として、尾坂芳夫(東北大)、田辺忠顕(名大)、大塚浩司(東北学院大)各教授、六郷恵哲(岐阜大)、二羽淳一郎(山梨大)、筆者ら各助教授の6名が、日本コンクリート工学協会海外連絡委員会(CEB国内委員会)の援助のもとに参加した。本報告は、第26回CEB総会ならびに各小委員会等における活動状況の報告である。CEBモデルコード改訂にあたって、いかなる技術的問題が議論され、CEBがどのような方向を指向しているかを、本報告からわずかでも理解していただくことができれば幸いである。なお、前回の総会(テレビソ)の内容は本誌1987年10月号に詳しいので、興味のある読者は参照されたい。

### 2. 小委員会(Permanent Committee) および作業部会(Task Committee)

各テーマごとに、総会に先立って小委員会および作業部会が開催された。これらは10数名程度の小人数会議であり、参加者は委員会委員および任意参加のオブザーバーから構成され、3つの会場で並行して行われた。以下は、1990年発行を目指したモデルコード(MC90と呼ぶ)制定にあたって実施された会議の概要であり、6名の参加者が、それぞれ事前に分担を確認したうえで参加した(以下、敬称略)。



(左から大塚浩司、田辺忠顕、尾坂芳夫、  
六郷恵哲、二羽淳一郎各氏および筆者)  
写真-1 CEB総会の会場にて

#### 第1小委員会(信頼性、安全性評価)

MC90の信頼性評価(第1章)と品質保証・品質管理(第12章)の試案が、討論の主たる対象であった。原案では、試験体強度と実構造物中の強度との差を表す変換係数 $\eta$ が材料に関する係数 $\gamma_m$ のなかに含まれるとなっている。これに対して、当初の定義では $\eta$ は立方試験体強度と円柱試験体強度の差に関連したものであったことがLewickiにより指摘され、 $\gamma_m$ と $\eta$ の概念を明確にすること等がOstlandらによって議論された。尾坂、田辺両名は、構造物の重要度を表す係数の有無の確認とその必要性を提起し、Lewicki、MeseguerらはISOでの取扱いを紹介し、この種の係数の採用に賛意を表した。

田辺、尾坂両名は、品質保証と管理状態を安全係数の中に反映させる意義を指摘した。これに関して、両名が次回会合までに条項試案を作成することになった。

本委員会は構造物の安全性・信頼性の照査に関する基本事項を扱う委員会であり、将来にわたり、CEBモデルコードの統一性に対して責務を担っている。さらに耐久性、健全性等についても規定していくことが確認された。

\* まえかわ・こういち/東京大学助教授 工学部土木工学科  
(正会員)

#### 第4小委員会(部材の設計)

本委員会は、終局限界状態に対する照査方法を検討する委員会である。今回の会議でもっとも話題となったのは、せん断力を受ける部材のうち、支点反力や載荷点の影響が支配的となる不連続領域に対して、ストラット・タイモデルを適用することの是非についてであった。議長の Regan, Braestrup, Walraven, Reineck らが積極的に支持したのに対して、長老の Levi, Kupfer, Grasser らが従来のせん断設計方法を変更することに対して強行に反対し、会議の大半がこの問題に費やされた。反対の理由は、このモデルは説明図が多すぎて実用的なコードにはなり得ないとするものから、間違えやすい、あるいは未熟な設計技術者の考え方を誤った方向に導くとする等、さまざまであった。Collins も、コンクリート構造解析の基本は、釣合い条件、適合条件、構成則の確立であるとの自身の立場からこれを支持せず、あくまで鉄筋コンクリート要素を基礎として部材・構造が構成されるべきとの見解に立った。

#### 第5小委員会(使用性の検討に関する委員会)

鉄筋コンクリート部材の引張り剛性、許容ひびわれ幅、部材のたわみ算定法が主たる検討内容であった。部材の引張り剛性と曲げ変形を、付着応力-すべり関係に基づき算定する方向が打ち出されている。これに対して、Van Nieuwenburg らは、付着応力が局所すべりのみの関数では表せ得ず、位置によって見掛け上大きく変化することを述べ、筆者は、任意の境界条件と位置に対して、鉄筋ひずみを付着応力算定のパラメータとすれば鉄筋降伏以後を含めてこの問題が解決できることを、わが国の研究にもとづいて指摘した。ひびわれ幅と鉄筋腐食に関しては、両者に関連性が少ないとする見解が大勢を占めたが、前総会に引き続き、かぶり許容ひびわれ幅を変化させている土木学会コンクリート標準示方書の考え方を示した。

Favre, Wicke らは、前出の付着モデルに立脚した引張り剛性モデルに従って、部材曲率を算定するモデルおよびその簡易式を提示した。RCとPC構造に理論的な整合性が要求されること、およびクリープの影響の採り入れ方に関して質疑応答がなされた。本委員会では、原案における付着モデルの適用性に問題を含むことを認識しつつも、基本的には、ひびわれ幅、部材のたわみの算定を付着理論から規定する方向に動いている。

#### 第8小委員会(コンクリート)

コンクリートおよびコンクリート技術(付録)の条項原案が検討された。従来の規定にある力学特性だけでなく新たに破壊エネルギーや引張り軟化特性が盛り込まれている点に今回の改訂の特徴がある。また、載荷速度、材令、温度等の影響が定量的に示されている。大塚は、ひ

ずみ軟化曲線と破壊エネルギーとの間に物理的な整合性を厳密に採り入れることを提案し、採用されることになった。また、整合のとれた軟化曲線の提案を行い、継続して審議することになった。

土木学会標準示方書の施工編に相当するコンクリート技術(付録)では、材料、配合、特性、養生、各種コンクリートを扱っており、とくに混合セメントの規定や高性能減水剤を用いた高強度コンクリートに関する記述などについて審議が行われた。

#### 第6小委員会——第1作業部会(定着)

定着と重ね継手の照査に関する条項案について討議がなされた。R. Eligehausen が付着-すべり関係の提案式について説明を行ったのち、太径鉄筋の定着と継手が討議された。MC90の条項案では、直径32mmを超える異形鉄筋に対して、径に応じた長い定着長をとること、太径鉄筋の重ね継手を許さないことが規定されている。大塚は日本における太径鉄筋の使用実績と土木学会標準示方書での取扱いを説明し、少なくともD51までの太径鉄筋に対する特別な制限規定は不要ではないかと提案した。これについて討議され、次回作業部会までに修正条項の具体案を提出することになった。さらに、G. Balazs はプレストレストコンクリートの定着規定について説明し、関連内容の討議が行われた。

#### 第15作業部会(疲労)

総会では、議長の Tilly が CEB Bulletin, No. 188 の疲労に関する State of the Art Report を紹介することになっていたため、本会で疲労試案の条項を集中して討議するということはなかった。話題となったことは、せん断補強筋のひずみが繰返し荷重を受けてどのような挙動を示していくかという変形に関する問題、せん断補強筋の疲労強度の算定に必要な作用応力をどのように算定すべきかといった問題であった。なお、二羽、大塚両名はこの部会に出席し、二羽は土木学会標準示方書の異形鉄筋の設計疲労強度式について紹介したが、設計式の適用範囲、基礎データの範囲等について、出席者から熱心な質問を受けていた。

#### 第24作業部会(多軸応力下におけるRC構造の設計)

MC90の特徴の一つに、部材・材料の基礎的な挙動を設計コードに反映しようとする点が挙げられる。本部会と深い関連のある第22作業部会(繰返し荷重下におけるコンクリート構造物の挙動と解析)の議長 P. E. Pinto から、活動状況とMC90へ向けての準備状況について報告がなされた。ここで、本部会における多軸応力下のコンクリートモデルとその適用範囲をどこに設定すべきかについて、田辺、Ottosen 両名が指摘し、使用すべきモデルの要件について意見交換がもたれた。

K. Schafer は、ストラット・タイモデルによる支点

近傍の部材耐力算定手法について提案した。ひびわれを含む拘束下のコンクリート強度が本部会に関連する問題として議論された。筆者は耐力低下機構に及ぼすひびわれ幅、間隔、平均ひずみの影響度について述べ、実験データを提出することになった。また、はりのせん断耐力に関して、Kotsovos は FEM による応力解析から設計耐荷方式を提案し、Kuttab は、せん断耐力に及ぼす寸法効果を応力流れから説明しようとするモデルを提案した。これらに対して、力の釣合いと耐荷力機構に疑義が提起され、討論を行ったが、結論は次回以降に回された。六郷は、FEM による寸法効果の解析には、破壊エネルギーと要素寸法との整合性をとる必要があることを指摘した。

### 3. 第 26 回 CEB 総会の概要

小委員会、作業部会に引き続き、総会がドブロブニク市内のホテル (Hotel Libertas) にて開催された。3 日間の会期中、1~5 セッションにわたって、基調報告および質疑討論が滞りなく進化した。本総会には、西ドイツ、フランス、イタリア、イギリス、ユーゴスラビアをふくむ欧州 20 数か国の代表者、若干名の ACI 関係者、カナダ、日本、イラン、ブラジルからの参加者、あわせて百数十名が参加した。日本は CEB の正規会員国であり、日本側窓口は日本コンクリート工学協会である。

本総会の幹事国であるユーゴスラビア代表団のあいさつに続き、CEB 会長の Rowe 博士から開会が宣言された。Rowe 会長は、昨年、日本コンクリート工学協会の招きで来日され、仙台で開催された JCI 年次大会で特別講演をされた。ご記憶の会員諸氏も多いことと思われる。以下、5 セッションに関する概要を報告する。

#### 3.1 セッション 1 MC 90 の紹介、材料特性、構造解析、挙動モデルに関する討議

(1) CEB 内の MC 90 改訂委員会委員長である Tassios が、1978 年 CEB-FIP モデルコード以降の技術の進歩と改訂作業のいきさつ、MC 90 が大変革では

なく着実な改革であるべきこと、今後の作業予定についての概要などを示した。また、MC 90 の特徴として、施工、品質管理に関する項目、RC 構造の挙動を支配する基礎的な挙動のモデル (第 3 章) などの新条項について言及した。これに対して、次期モデルコードの構成と体裁、解説と本文の記述すべき内容の割振りなどの意見が見られた。

(2) コンクリートに関する条項 (第 2 章) について、Rombotte は Hirsdorf (けがのため欠席) に代わり、コンクリートの分類の基本的考え方、新たに条項に加わる多軸強度、原案にあるクリープ・乾燥収縮式の精度を概説した。また、破壊力学に関する材料モデルの説明があり、作業部会における六郷の提案を検討、受け入れる方向にあることが報告された。また、若材令でのクリープ式の精度や応力-ひずみ関係に関して、質疑ならびに提案がなされた。

(3) Macchi は、構造解析 (第 5 章) の構成を概括し、種々の限界状態に対応する解析手法を提示し、非線形解析に関する条項 (塑性理論含む) を導入した点を強調した。また、許容モーメント再分配と部材断面回転角に関する規定の概説を行った。また、Eligehausen は、鉄筋配筋使用におけるモーメント再分配に関する提案を行った。これらに対して、鉄筋の伸び能力および部材の回転能の規定を検討すること、鉄筋種別による過去の経験を盛り込むことなどが話題となった。

(4) Wicke は、使用性 (第 7 章) に関する条項案のうち、付着モデルから部材の引張り剛性とひびわれ幅を算定する方法を説明し、Favre は部材の変形計算に関する条項案の紹介を行った。ここでは、軸力を受ける場合の付着と引張り剛性の評価について質疑応答がもたれた。Skettrup は、横拘束を有する柱の応力-ひずみ関係に関する規定を概説し、今後さらに詰めるべき内容について述べた。これらの報告に対して、部材回転能や変形の算定の繁雑さを指摘する意見、定着強度との整合性に対する疑義などが討議され、今後の改訂作業の考察対象とすることになった。

#### 3.2 セッション 2 設計手法、設計詳細、使用性の検討

(1) Regan は、終局限界状態の照査に関する条項案の解説を行い、とくに、軸力を考慮したはりのせん断耐荷方式の精度の検証、部材の局所的な形状や配筋、荷重状態が耐力に意味をもつ部材に対して、釣合い機構を基本としたストラット・タイモデルを用いていく方針を示した。定着長さの照査のように、付着や鉄筋詳細に関連する事項との整合性をとることが指摘されたとともに、応力-ひずみ関係にもとづかない耐力算定式の限界も話題に上った。



写真-2 CEB 総会の会場となった Hotel Libertas

(2) Perchat は、構造部材の設計詳細に関する条項の説明を、集中荷重を受けるスラブ、連続はり、柱との接合部、コーベルなどを例に挙げて解説した。これを受けて、PC部材の定着に関する設計詳細、部材設計の章におけるモデルとの関連性、くい頭の配筋詳細が話題となった。さらに、部材隅角部など、割裂作用を考慮しなければならない部位の配筋詳細に関して、基本的な設計概念の必要性が指摘された。できるかぎり整合性のとれた、統一性の高い設計詳細の記述を試みる点で合意した。

(3) Wicke は、使用限界状態の検討(第7章)について、ひびわれ制御の観点からみた安全裕度の考え方、鉄筋応力の制限事項などを解説した。また、Beeby は、ひびわれ間隔の分布の平均値を基準にして、ひびわれ間隔の最大値を設計で使用すること、ひびわれ幅算定における前提条件および設計詳細で考慮すべき事項についてコメントを与えた。ここでは、鉄筋コンクリートの引張強度算定法、せん断ひびわれ算定法に関して解決すべき問題点や、耐久性を考慮した最小鉄筋量について意見が出された。

### 3.3 セッション 3 耐久性、施工、信頼性など

本セッションは、MC 90 で大幅に採り入れられる予定の条項を対象としており、条項案作成の経過報告と内容の質疑が議題となった。

(1) Rostam は、耐久性(第8章)に関する原案を報告した。設計耐用年数を維持管理を考慮して設定すること、設計の要件を安全性、使用性、美観の3点で規定すること、鉄筋詳細や型わくなどの施工条項とうまく連結する必要があること、かぶりコンクリートの品質の重要性などについて、実例を挙げながら概説した。以上は定性的な指摘であるのに対して、二羽は、土木学会耐久性設計小委員会(岡村 甫委員長)で検討している定量的評価にもとづく耐久性設計の考え方(本誌 1988年 11月特集号に詳しい)を紹介し、大きなインパクトを参加者に与えた。本総会では以後、耐久性に関する“Japanese Approach”として引用されたことを付け加えておく。

(2) Miehlsbradt は、施工(第11章)の条項案を、目次の構成に従って解説した。

(3) Mathieu は、CEB Bulletin No. 191 に従い、構造物の信頼性のための設計原則について説明した。この中でとくに注目すべきは、コンクリート構造物の設計・材料・施工の品質管理のレベルを直接的に構造設計に採り入れる考え方が示されたことである。この後の質疑で Meseguer は、品質管理のレベルに応じて材料係数を変化させるべきであると指摘した。

(4) 本セッションの終りに、ACI オブザーバーと

して出席していた Jirsa がとくに指名を受け、ACI Building Code '89 の改訂の現状を簡単に紹介した。今回の改訂の特徴は、安全性の照査の場合にできるだけ単純化を行ったこと、耐久性や耐震性の項目に関してかなりの見直しをしたことなどである。なお、せん断やねじりの項目では、Collins らの研究成果を活用して相当に変化することである。

### 3.4 セッション 4 A: 高強度コンクリートの設計、 B: 計算プログラムにおける RC および PC の モデル

当セッションは、2テーマ、2会場に分かれて進行した。近い将来、設計コードに採り入れていくべき問題として設定されたものである。

(1) テーマ A: 高強度コンクリートの設計上の諸問題に関するセッションとなるべきものであったが、横拘束による圧縮強度の増加の実験結果などを示して基調報告を行った König を除いて、前半はすべて、棒部材のせん断問題に置き代わってしまった。発表者は F. Levi, P. Marro, Reineck, Collins らであった。とくに Reineck は、Collins が簡易化の理由で用いている主ひずみと主応力方向の一致の仮定を批判し、斜材角の変化とひびわれたコンクリートの圧縮強度の低下を仮定して、巨視的にせん断耐力を算定する方法を示した。これに対して Collins は、2台のスライド映写機を駆使して、このようなアプローチがいかに複雑であるかを述べ、せん断問題も曲げの問題と同様に、簡単かつ基本的な仮定のみから解決すべきものであると指摘した。彼は、はりを高さ方向に分割して面内力を受ける板要素として解析すべきであるとの持論を展開した。

後半には、高強度コンクリートの適用例として、橋、高層ビル、海洋構造物等の美しいスライドが多数用意されていた。しかし、前半に多くの時間を割いたため、十分な質疑が行われなかったのは残念であった。発表者は Walther, Colaco, Haug, Holand の4名であった。

(2) テーマ B: 鉄筋コンクリート構造物の有限要素解析における材料モデルについて、既往の研究成果と研究の動向について報告が行われた。Willam は、材料のひずみ軟化領域における構成式を、変形の局在化と要素寸法から決定する有限要素モデルについて述べ、Ottosen は、既往の多軸応力下における構成式の開発の経緯と現状、鉄筋ならびに付着に関する計算モデルの概括を行った。田辺らをはじめとし、基本モデルの適用性や定式化における問題について質疑討論が行われた。

Cervenka は、既往の RC を対象として、FEM プログラムの概要と解析結果の比較、ならびにはりの解析を例にとって、ひびわれのモデル化が解析結果に及ぼす影響について考察した。Eibl は、衝撃および温度荷重に

かかわる問題を取り上げ、解析に反映させる手法に言及した。これらに対して筆者は、日本コンクリート工学協会RC構造の有限要素解析と設計法委員会（野口 博委員長）で作成中のガイドラインの概要を紹介し、併せてFEM解析の設計への応用形態について意見を述べた。この問題に対するCEBの姿勢や見解は残念ながら明示されず、非線形解析の設計への応用には、さらに具体的な議論が必要な雰囲気であった。

### 3.5 セッション 5 進行中の活動報告

現在進行中の活動の報告として、(1) 建物の品質管理、(2) 衝撃荷重下におけるコンクリート構造物、(3) コンクリート構造物の疲労が取り上げられ、それぞれ Meseguer, Eibl, Tilly から調査・研究の成果が報告された。これらは、報告集および State-of-the-Art の形で CEB Bulletin の 184, 187, 188 号に詳しいので、興味のある読者は参照されたい。

## 4. ドブロブニクにおける 10 日間

今回の総会の会場となったドブロブニクは、アドリア海に面した気候温暖な小都市で、首都ベオグラードから空路で 2 時間程度の位置にある、欧州のリゾート地としても有名な場所である。当地には 15 世紀の町並みをそのまま保存した地区 (Old Town) があり、中世ヨーロッパの趣きを感じることのできる土地柄である。

会期中の日曜日には、Social Program の一つとして、バスでアドリア海沿岸のいくつかの小都市を訪れた。とくに、1970 年代の地震で破壊された街角や建物の修復現場などもルートに盛り込まれ、町ぐるみの文化財保存の現状を見ることができた。また、ユーゴスラビアに伝わる民俗音楽や踊りなども会期中に披露され、昼間の緊張した討論などをしばし忘れて楽しむことができた。当地において CEB 総会を支えた組織委員の方々の努力と款待に感謝したい。

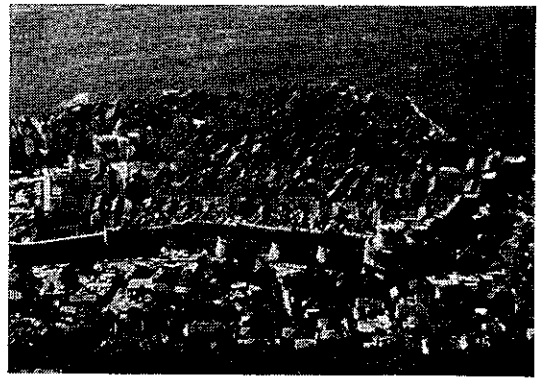


写真-3 ドブロブニクの Old Town

## 5. おわりに

CEB 総会とそれに先立って行われた各委員会での議論は、いつものことではあるが非常に活発で、今日までの斯界の技術をリードしてきた自負と将来への意欲とが感じられた。わが国から参加した委員は、作業部会、小委員会、総会などで積極的な討議をし、独創的な研究の成果にもとづく意見として多くの関心を集め、高い評価を受けたことは、たいへん喜ばしいことであった。これは、CEB の活動の中に、日本からの参加者が着実に基盤を築く緒となったと考えている。日本は欧米から遠く離れており、日本が設けた土俵で、このような国際的討議を定期的に行っていくことには困難があるが、それが実行できるのも、そう遠いことではないと感じている。

本報告は、総会に参加された委員（本稿の冒頭に示した 5 名）各位からいただいた概要報告にもとづき、筆者がとりまとめたものである。また、尾坂芳夫教授をはじめ、構成についてもご意見やご指摘をいただいた。さらに、日本コンクリート工学協会海外連絡委員会から、出席にあたり支援をいただいた。心より御礼申し上げる次第である。