

IHI グループにおけるコンクリート技術の現状と今後の動向

Present Status and Future Prospects for Concrete Technology of the IHI Group

田 沢 雄二郎 技術開発本部 技師長 工学博士 技術士（建設部門）

これまで IHI グループは、橋梁や大型海洋構造物およびシールドトンネル用セグメントなどを中心に広範囲にわたってコンクリートを用いた製品や構造物を建設してきた。一方、コンクリート分野の技術開発もつねに新しい材料や合理的な設計手法の開発を行うとともに、その成果を実構造物に適用してきている。また、建設後すでに数十年経過した既設構造物の維持補修技術の開発も積極的に進められ、少しでも長く構造物を使用しようとする機運が高まってきている。本稿では、最近の 5 ～ 10 年を中心に、IHI グループ全体のコンクリート技術および製品の現状を紹介するとともに、グループに関連する分野での今後のコンクリート技術の展望を述べる。

The IHI group has constructed many types of concrete structures including long span concrete bridges, large marine structures such as caissons and pontoons, concrete segments, etc. Concrete materials as well as design methods of concrete structures are the main study subject. Maintenance technology has also developed to cope with the needs of modern structures. Technology and production of the IHI group related to concrete are described together with advancement in this field at the IHI group.

1. 緒 言

近年の我が国におけるコンクリート技術の発展は目覚しく、高流動コンクリートや超高強度コンクリートに代表される多くの新技術が長大橋梁、大型海洋構造物、大規模ダムなど広い範囲に適用されてきた。さらに現在においても、新しい技術の開発を官民ともに鋭意進めており、これまで蓄積された技術に新しい技術が加わり、これからの新しい構造物の建設に積極的に適用されるものと考えられる。

しかし、一方では 1960 年代初めごろからの我が国の高度経済成長期に建造された多くのコンクリート構造物は、すでに 30 ～ 40 年以上経過しており、その一部には劣化の徴候が現れ始めている。これらの現象は最近のマスコミなどでも大きく取り上げられ、トンネル覆工コンクリートや橋梁床版のコンクリートのはく落など社会問題化してきていることも事実である。これらの既設構造物の劣化・損傷に関しては、ハードおよびソフトの両面からのメンテナンス技術の開発が急務となっている。

これまで、当社ならびに IHI グループとしても、コンクリートを用いた構造物の建造には多くの技術が駆使されてきており、この分野は橋梁、海洋構造物、シールドトンネル用セグメントおよび LNG タンク躯体など非常に広範囲にわたっている。これらの技術の全容を本稿で紹介することは不可能であり、詳細については各社・各グループの技

報あるいは社史などを参考願うとして、ここでは、過去 5 ～ 10 年程度に的を絞り IHI グループ全体のコンクリート技術の概要を紹介するとともに、今後グループが関係すると思われる範囲での注目すべき技術の動向について概説する。なお、今回紹介するグループ関連部署としては、IHI 関連事業部以外はコンクリートを主として扱う石川島建機工業株式会社、ピーシー橋梁株式会社、リブコンエンジニアリング株式会社の 3 社に絞って紹介する。

また、本稿で概説している各技術および製品の詳細に関しては、本特集号においてその幾つかを独立した論文として掲載している。

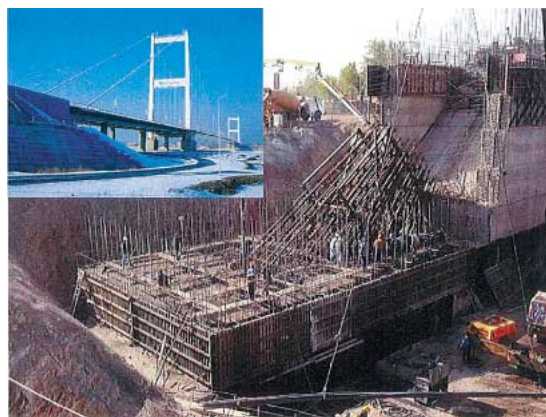
2. 当社ならびにグループ関連部署におけるコンクリート技術の現状

2.1 橋梁事業部

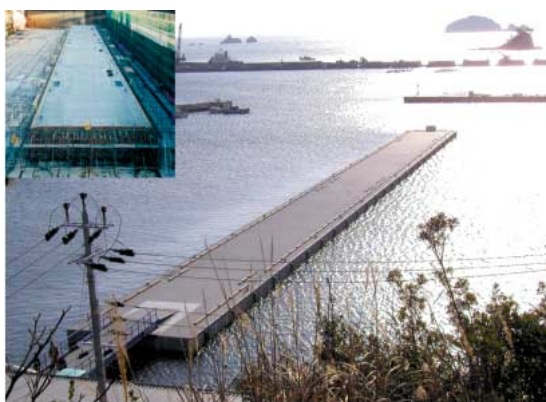
当事業部では鋼製橋梁、橋梁用鋼製ケーソンおよび沈埋函が主製品であり、コンクリートに関しては鋼橋の床版コンクリート、鋼とコンクリートの複合構造物などがあるが、高度のコンクリート技術の開発は行われていなかった。しかし、最近の少数主桁橋梁、上下部一体複合橋梁あるいは鋼 - コンクリート合成構造の実橋への適用などによって、より合理的なコンクリートの施工方法の開発が求められている。第 1 図は 2003 年 3 月に開通した近畿自動車道「佐分利川橋」の全景である。本橋の施工によって、



第 1 図 「佐分利川橋」全景
Fig. 1 General view of "Saburigawa Bridge"



第 2 図 「イルティッシュ河橋梁」アンカー部マスコンクリートの施工
Fig. 2 Anchorage mass concrete of "Irtyish River Bridge"
(Republic of Kazakhstan)



第 3 図 PC ハイブリッドポンツーン (兵庫県坊勢漁港浮棧橋)
Fig. 3 PC hybrid floating pontoon
(Bouse fishing port, Hyougo Prefecture)



第 4 図 ハイブリッドコンクリートケーソン (広島港出島地区)
Fig. 4 Hybrid concrete caisson (Dejima, Hiroshima harbor)

ひび割れ防止技術など多くの橋梁床版の施工技術確立できた⁽¹⁾。また、合成構造の設計技術の開発ニーズも高まり、多くの技術開発が行われている。特に IHI 合成床版として売り出しているチャンネルビーム合成床版はその代表例である。コンクリート床版については、従来の従構造的な考え方から、主構造としてその耐久性の確認が必須となっており、そのために必要な本格的な輪荷重走行試験機を他社に先駆け設置し、床版開発に取り組んできた。チャンネルビーム合成床版も、この試験装置による疲労性能の確保、継手部の構造的安定性など多くの実験および解析によって確認されており、2003 年 10 月には社団法人日本橋梁建設協会から認定工法として位置づけられている(本特集号別途論文参照)。

一方、当事業部は、海外の大規模橋梁に関してもこれまで多くの実績をもっており、ザイル(現、コンゴ民主共和国)の「マタディ橋」、トルコの「ボスポラス橋」やカザフスタンの「イルティッシュ河橋梁」⁽²⁾(第 2 図)でのフルターンキー施工によって、大型アンカレッジや主塔の建設などマスコンクリートに関する技術も持っている。

2.2 鉄構事業部

当事業部でのコンクリート技術に関しては、ハイブリッドケーソンおよび浮体構造物に代表される海洋構造物の建造が中心である。特に最近では、大型ケーソンのほかに、プレストレスト構造による浮体構造物の実績も多く、技術的に高度なものをもっている。構造的には RC 構造、PC 構造、合成構造のいずれにも対応でき、その施工実績もすでに 100 函以上に達し、特に兵庫県家島町に納入した浮棧橋は長さ 130 m、幅 10 m、高さ 2.8 m にわたる大規模 PC 構造物であり、その技術は高く評価できる(第 3 図)。第 4 図にコンクリートケーソンの事例を示す。

最近の開発事例としては、コンクリートケーソンのコスト低減をねらった、プレキャストの高強度軽量ケーソンが挙げられ、すでに実用化の目途が立っている。ここでは、高強度の軽量コンクリートを用い、特にプレキャスト版の接合部の構造形式に特徴をもっており、多くの構造実験結果から、その安定性が確認されている⁽³⁾。

また、最近の新しい海洋コンクリート構造物として、消波を目的にしたコンクリート製斜版堤を建造し、海上でのコンクリート製品の据付けなどの施工技術をもって（本特集号別途論文参照）。

2.3 土建プロジェクト部

当部はコンクリート構造物の建設技術に関する歴史が古く、かつては、国内でのコンクリート製 LNG 地下タンク躯体、海外での大規模プラント建設に付随するコンクリート工事など大規模コンクリート構造物を手掛けてきた。最近では、海外工事に関するものが多いなかで、特にコンクリート製 LNG タンクの建設は特記される構造物である。第 5 図にペトロネット LNG 基地用コンクリートタンク（インド）を示す。この工事では、現地の材料を用い、高度な PC 技術を駆使し、また、工事口閉鎖工事に高流動コンクリートを活用するなどにより大きなトラブルもなく工事を完成させた（本特集号別途論文参照）。

2.4 当社の他関連事業部

ここでは原子力事業部のコンクリートキャスクを紹介する。コンクリートキャスクは、原子力発電所において発生する使用済燃料を再処理するまでの間、一時的に貯蔵するための機器で、キャニスタ（鋼製の使用済燃料密封容器）とこれを保持する鉄筋コンクリート製容器で構成される。コンクリート部材の厚さが 80 cm 以上と大きいために、コンクリート施工時の温度応力や、貯蔵時のコンクリート温度が最高 90 程度にまで熱せられることによる温度応力に対して安定で、かつ装置が設置される環境条件において長期の材料的安定性が要求される。当社は BNFL Fuel Solutions 社（アメリカ）の技術を導入するとともに、独自の技術開発により、我が国での実用化を目指している。第 6 図にコンクリートキャスク試作体を、第 7 図に製作時



第 5 図 ペトロネット LNG 基地用コンクリートタンク（インド）
Fig. 5 Concrete tank of Petronet LNG terminal project (India)



第 6 図 コンクリートキャスク試作体
Fig. 6 Prototype of concrete cask



第 7 図 コンクリートキャスクの製作状況
Fig. 7 View of concrete cask construction

の状況を示す（本特集号別途論文参照）。

2.5 石川島建材工業株式会社（以下、IKK と呼ぶ）

IKK は、コンクリート製セグメントの製造を主事業（第 8 図）とし、セグメント以外にも多くのコンクリート二次製品を製造している。例えば、プレキャスト床版、トンネル覆工用プレキャストコンクリート（第 9 図）、プレキャスト水槽など時代のニーズに合わせた製品を建造してきた。したがって、コンクリートに関しては、広い範囲にわたり高度の技術をもっており、特に、高流動コンクリートに関しては、多くの研究論文を発表するとともにセグメント、ハイブリットポンツーンなどの施工実績がある。また、LNG の海洋貯蔵タンク用コンクリート製の基礎構造物を対象に研究を行った高強度軽量コンクリートについても、フレッシュコンクリートの施工性および硬化コンクリートの



第 8 図 セグメント組立て完成後のトンネル全景
Fig. 8 General view of assembled concrete segments



第 9 図 トンネル覆工用プレキャストコンクリート
Fig. 9 Precast concrete for tunnel lining

耐久性に関し、多くの研究成果を挙げている。

そのほか、特殊な材料について、現在市販されている商品では不可能な、短時間に高強度を得ることができるグラウト材を開発し、材料メーカーとの共同で商品化検討を行っている。工期に制約がある床版取換え工事など主に土木分野での適用が期待されている。また、建築分野においては、短繊維補強超軽量モルタル（密度：約 0.9 g/cm^3 ）を集合住宅の外壁材に適用している（本特集号別途論文参照）。

2.6 ビーシー橋梁株式会社（以下、PCK と呼ぶ）

PCK は、コンクリート構造物を専門とする橋梁メーカーで、その歴史も長く、プレストレストコンクリートに関する技術ならびに施工実績は非常に多くっており、本稿で紹介するには紙面が足りず、その詳細は文献⁽⁴⁾に示されている。

このなかで、特記すべきことは、近年注目されている複合橋梁形式の導入であり、現在、第二名神高速道路に橋長 555 m の波形鋼板ウェブ PC エクストラードード橋「栗東

橋」を建設中である（第 10 図）。また、既設橋梁の維持補修に関しても調査診断技術はもとより、多くの補修工事の実績がある。特に、IKK と共同開発した高強度軽量プレキャスト PC 床版（HSL スラブ）は、一般のプレキャスト PC 床版より質量が 20% 軽く、道路橋取換え床版として注目されている。第 11 図に「新富橋」（東京都中央区）における HSL スラブを示す。また、本床版は、財団法人土木研究センター（以下、土研センターと呼ぶ）の建設技術審査証明を取得済み（2003 年 11 月）である（本特集号別途論文参照）。

2.7 リブコンエンジニアリング株式会社（以下、LEC と呼ぶ）

LEC で特筆すべき技術は、コンクリートの練混ぜ技術を最大限に追求することによって完成した SEC（Sand Enveloped with Cement）コンクリートであり、すでに土研センターの土木系材料・技術評価を取得（1998 年 10 月）している。これは、コンクリートの練混ぜ方法として、まず適切な一次水で骨材とセメントを一次練りし、続



第 10 図 第二名神高速道路「栗東橋」
Fig. 10 View of "Rittou Bridge" construction (New Tomei and Meishin Expressway)



第 11 図 「新富橋」における HSL スラブ
Fig. 11 View of HSL slab construction at "Sintomi Bridge"

いて残余の水と混和剤を二次水として加えて二次練りして製造するもので、コンクリートのブリーディング水を少なくし、高い耐久性を付与できるものである。この技術に関しても多くの文献が報告されており、特に高品質吹付けコンクリートへの適用は、鉄建公団（現、鉄道建設・運輸施設整備支援機構）の NATM によるトンネル吹付けコンクリートの指定工法⁽⁵⁾となっている。このほか、SEC コンクリートは、一般のコンクリートにも適用可能で、二次製品や、道路橋床版や海洋構造物にも適用されている。今後さらにその適用分野が広がることが期待されている工法である。

ほかに、最近の低粉じん吹付け工法として注目されている、エアレス吹付け工法を当社と共同で開発中である。この工法は、粉じんを飛躍的に削減できることを多くの現場実験で実証済みであり、実現場への適用が十分可能である。第 12 図にエアレス吹付け機インペラヘッドを、第 13 図に独立行政法人土木研究所における吹付け実験状況を示す（本特集号別途論文参照）。



第 12 図 エアレス吹付け機インペラヘッド
Fig. 12 Impeller head in airless shotcrete machine



第 13 図 独立行政法人土木研究所における吹付け実験状況
Fig. 13 View of airless shotcrete test at Public works research institute

3. 当社技術研究所における開発成果

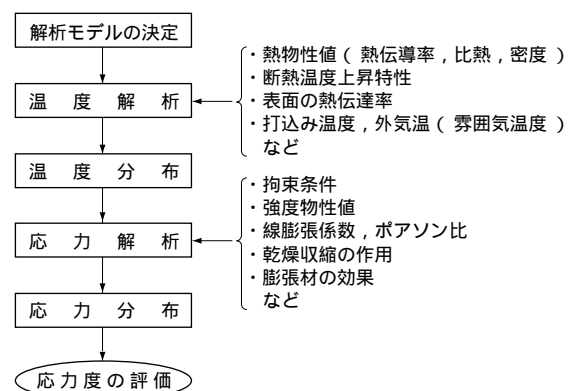
当研究所において、コンクリートの専門グループが結成されてからすでに 6 年近く経過し、この間に多くの研究開発の成果を得ている。基本的には構造、材料、維持補修、といった技術範囲を網羅しており、前述の関連部署からの要請による技術的コンサルティング業務も多くこなしている。特に、構造的な分野としては、床版コンクリートの施工時の温度応力や乾燥収縮によるひび割れ防止技術の解析的検討を中心的に行い、さらに、床版コンクリートを対象とした薄い断面の広い面積をもつ構造物の養生を中心とした施工方法の開発を実施中である⁽⁶⁾、⁽⁷⁾。また、材料的には新しい材料やリサイクル材料などの適正利用技術の研究・開発を手掛けるとともに、当社として特色の出せるまたは必要のある技術、例えば溶融スラグのコンクリート材料としての利用⁽⁸⁾、ポーラスコンクリートの製造技術の開発⁽⁹⁾などを実施してきた。

一方、維持管理技術に関しては、これまで当社が鋼構造物を対象として高い技術を保有している超音波を主体とした非破壊検査システムや、鉄筋の腐食機構の解明および鋼材の防食方法の開発を行うとともに、表面被覆材を中心としたコンクリートの劣化防止技術の開発などを手掛けている。

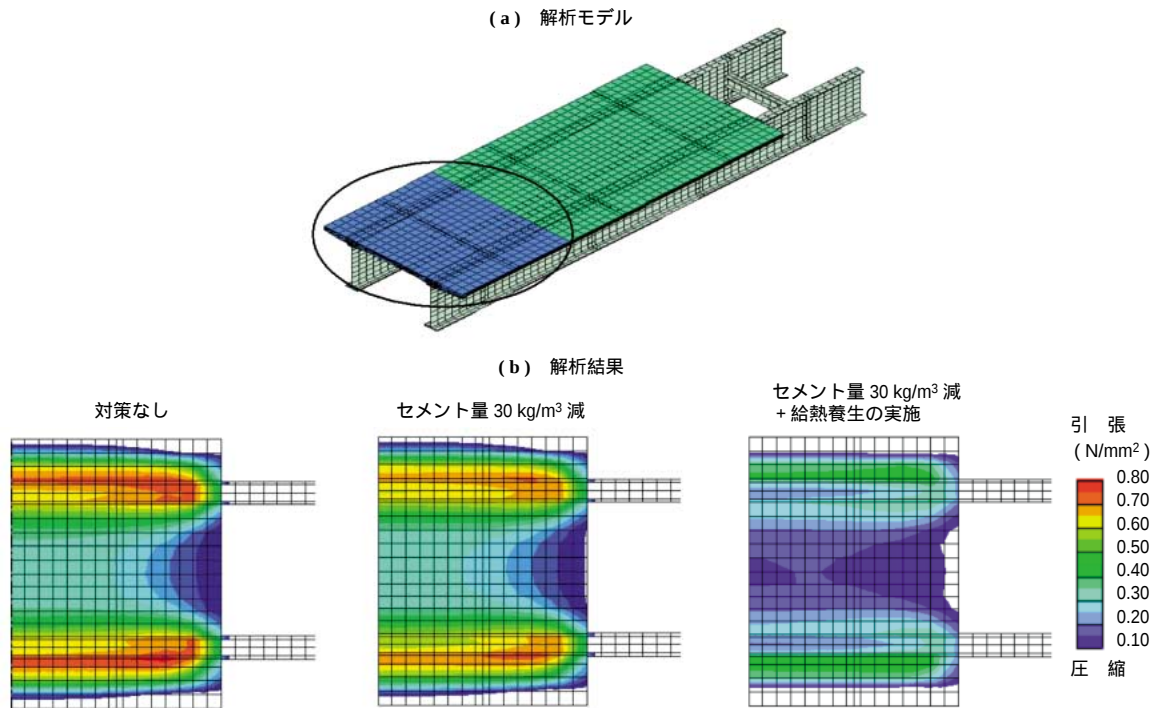
これらの研究成果は、実現場に一部適用するとともに、学協会などの研究報告会などで多く公表してきた。また、その成果の多くは本特集号でも別途報告している。その一例として、第 14 図に温度応力解析フローを、第 15 図にコンクリート床版の温度応力解析結果を示す。

4. 今後のコンクリート技術の展望

これから新しく構築される構造物に対する技術としては、



第 14 図 温度応力解析フロー
Fig. 14 Flow of thermal stress analysis



第 15 図 コンクリート床版の温度応力解析結果
Fig. 15 Results of thermal stress analysis for concrete slab

高機能コンクリートおよび高耐久性コンクリートが挙げられる。一方、今後さらに重要視されるであろう既設構造物の維持補修技術に関しては、コストミニマムを前提とした合理的な調査診断・補修技術であり、さらに補修後の構造物の寿命予測技術である。これらに関して、現在、学協会を中心に基準化が進められているが、IHI グループとしても、これまでの鋼材についての材料腐食機構や検査計測技術のポテンシャルを駆使した独自の技術開発を積極的に進めていく必要がある。これらの具体的展望を以下に紹介する。

4.1 コンクリート材料

4.1.1 超強度コンクリート

構造物の部材断面の縮小およびそれに伴う自重の低減を目的とし、さらにコンクリートを緻密にし、塩分のコンクリート中への浸透や中性化に対する抵抗性の向上を目的に高強度化が進められている。従来の鉄筋コンクリート (RC) の強度は $30 \sim 40 \text{ N/mm}^2$ 程度、プレストレストコンクリート (PC) で $50 \sim 60 \text{ N/mm}^2$ 程度である。これに対して、土木や建築の分野では 100 N/mm^2 程度のコンクリートが用いられ始めており、さらに最近完成した山形県酒田市に建設された「酒田みらい橋」では 200 N/mm^2 の高強度を実現した。これはコンクリート中に石英質微粉末や高性能減水剤、繊維補強材などを混入することによって高い圧縮ならび

に引張強度が得られ、部材断面厚さを薄くできるとともに鉄筋を省略できる特長をもつ構造物である⁽¹⁰⁾。IHI グループもこの分野の技術を積極的に開発していく必要がある。

4.1.2 高流動コンクリート

鉄筋が密に配筋されていたり埋設物が多い構造物では、一般にコンクリートの充てんが悪く、また締固め作業も困難であり、時には未充てん箇所ができ、コンクリートの耐久性を著しく損なうケースがみられた。これに対し、最近の高性能な混和剤の開発によってコンクリートの水分量を増やすことなく流動性が得られる、いわゆるセルフコンパクティングなコンクリートが開発されている。この結果、鉄筋の密な場所や部材寸法の小さい箇所へのコンクリートの打込みが容易になり、コンクリート構造物の品質が向上するとともに施工の省力化などが図られている。この技術は、ますます盛んになると思われる複合構造物、鉄筋の多い海洋構造物、沈埋函などの構造物への適用が期待される。

4.1.3 超軽量コンクリート

死荷重の軽減、スパンの増大、それに伴う基礎構造の簡素化、プレキャスト部材の運搬方法の簡素化などの目的で軽量でしかも強度的にも十分構造部材として用いることができる高強度超軽量コンクリートが実用化されている。これらの材料として、骨材に真珠岩を原料とするもの (比重: 約 1.2) や石炭灰を原料としているもの (比重: 約 1.8) があり、配

合によっては 70 ~ 80 N/mm² 以上の高強度が得られている。これらの材料を用いた適用例として前述の HSL スラブなどが開発されている。

4.1.4 超耐久性コンクリート

通常のコンクリートの寿命は、50 年程度が一つの目安として考えられている。しかし、コンクリートの個々の材料の耐久性を上げたり、前述の低水セメント比のコンクリートを用いることなどによって、100 年以上の耐久性を保証しているコンクリートのコンセプトが開発されている。また、コンクリート補強材として鉄筋や PC 鋼材に炭素繊維やアラミド繊維を用いたり、鉄筋の腐食を防ぐためにエポキシ樹脂で被覆された鉄筋や耐塩性鉄筋なども開発されている。

4.1.5 高じん性コンクリート

コンクリートは本来、ぜい性的な材料である。そのために、少しでもじん性を高めるための検討が行われており、その一つがコンクリート中に繊維補強材を混入させる方法である。繊維の種類としては鋼繊維、炭素繊維、アラミド繊維、プラスチック繊維など種々ある。鋼橋床版用のコンクリートとして、ポリプロピレン繊維混入コンクリートの利用を当社でも開発している。

4.1.6 その他

超早強コンクリート、超低収縮コンクリート、高耐酸性コンクリート、抗菌性コンクリートさらには環境に優しいポーラスコンクリート、エコセメントコンクリート、再生骨材使用コンクリート、焼却灰からの熔融スラグ利用コンクリートなども今後の材料として実構造物に適用されるものと考えられる。

4.2 複合構造

複合構造として代表的な構造物は橋梁である。複合橋梁本体の材料としては、鋼材とコンクリートがそれぞれの特徴を生かして用いられている。これまでの橋梁は鋼橋およびコンクリート橋として、各々その材料に相応した設計方法、施工法が採られ、現場の条件に適した構造が採用されてきている。一般に、用いる材料が異なることによって施工する企業も異なっている。すなわち、コンクリート橋では建設会社を中心になる場合が多く、鋼橋の場合は鉄鋼メーカーが中心になる場合が多い。両者のトータル的な建設量もほぼ同じ数量で推移してきている。なお、コンクリート橋の場合には、コンクリート以外に、鉄筋や PC 鋼材など鋼材によって補強されているが、これらを含めてコンクリート橋と呼ばれている。

一方、最近の鋼材とコンクリートを組み合わせた、複合構造形式の場合にはその両者が共同で施工を担当している場合が多い。これらの複合橋梁形式では、積極的に新しい形式が導入されており、例えば、PC 橋の桁部に波形の鋼板を用いた、いわゆる波形鋼板ウェブ PC 橋や、橋梁の一部分の区間を鋼橋に、それ以外の部分をコンクリート橋とする鋼 - コンクリート複合橋が急速に増加してきている。これらは、いずれも鋼材とコンクリートの重さの違いを利用して、橋全体の合理性を高めようとしているものである。また、鋼橋用コンクリート床版においても鋼板とコンクリートをジベルなどによって一体化した合成床版が盛んに用いられている。橋脚においても複合構造が採用され始めており、高橋脚に中空鋼管をコンクリート中に埋め込んだ鋼管コンクリート橋脚が多く採用され始めている。

一方、橋梁以外の構造物、例えば沈埋函やケーソンにみられる大型の海洋構造物においても、鋼 - コンクリートの複合構造が盛んに用いられている。これらの複合構造はいずれもコンクリート、鋼、線材、炭素繊維などの新材料を適切に用い、それぞれの長所を生かす構造形式であり、今後、これらの構造形式がますます盛んに用いられるものと考えられる。

4.3 維持補修技術

これからの構造物の維持補修技術としては、構造物の状況を早期に把握し、その状況に合った補修補強を行い、少しでも長く使用するための技術開発が強く要請されている。かつては、コンクリートはメンテナンスフリーをその特長の第一に挙げられていた。しかし、最近のコンクリート構造物は、良質な材料（特に骨材）の不足 施工性あるいは経済性を優先させたための耐久性の低下 作用する荷重の増大 使用環境の悪化などによりコンクリート構造物の耐用年数は減少してきており、すべての構造物に対して維持管理の重要性が求められている。

これらの現象に対して、コンクリートの診断、寿命の予測、適切な補修・補強の採用、補修後の再劣化の防止など開発すべき項目は非常に多い。さらに危険度を統計的に評価したリスクベースメンテナンス手法（RBM）を用いた総合的な維持補修技術の確立が要求されている。

5. 結 言

IHI グループ全体のコンクリート技術の現状を述べたが、非常に多岐にわたった技術を保有していることが改めて知ることができる。また、今後の展望を示すことで、今後さ

らに研究・開発を進めるべき課題も抽出できた。

コンクリートは、本来、経済的でしかもその資源が無限とまでいわれている我が国において、最近のコンクリートに対する信頼が損なわれつつあることは非常に危ぐすべきことである。この優れた材料を有効に活用し、さらに発展させることがコンクリートを扱う技術者の使命であると考え、今後も当グループ全体として積極的に開発に取り組んでいく必要がある。

参 考 文 献

- (1) 塩永亮介, 藪野真史, 戸田 均, 西 東十郎, 久保田善明: 場所打ち PC 床版のひび割れ抑制 — 「佐分利川橋」 — 石川島播磨技報 第 43 巻第 4 号 2003 年 7 月 pp.122 - 128
- (2) 宮田 明ほか: カザフスタン共和国「イルティッシュ河橋梁」建設工事 石川島播磨技報 橋梁特集号 2001 年 9 月 pp.148 - 157
- (3) 河野 豊ほか: 接合部を有する PC 梁の曲げおよびせん断耐力検証試験 土木学会第 58 回年次学術講演会概要集 CS6-055 2003 年 9 月 pp.525 - 526
- (4) ピーシー橋梁株式会社: ピーシー技報 Vol. 1 2002 年 6 月
- (5) 伊藤 隆, 越智 修, 末永充弘, 伊藤祐二, 田村忠

昭: 分割練混ぜ (SEC) による新吹付けコンクリートの硬化特性 土木学会主催第 10 回トンネル工学研究発表会 2000 年 11 月 pp.141 - 144

- (6) 倉田幸宏, 河西龍彦, 高瀬和男, 丸山久一: 有限要素法解析による長支間場所打ち PC 床版の施工時における応力評価に関する研究 構造工学論文集 Vol.49A 2003 年 3 月 pp.825 - 832
- (7) 塩永亮介, 倉田幸宏, 嶽下裕一, 室田 敬, 津田久嗣: 場所打ち PC 床版施工時の温度応力に関するパラメータ解析 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集 CS6-055 2003 年 9 月 pp.261 - 262
- (8) 戸田勝哉, 池谷眞哉, 田原賢一, 岩田英樹: 溶融スラグを骨材として用いたコンクリートの耐久性に関する研究 日本コンクリート工学協会コンクリート工学年次大会論文集 第 25 巻 2003 年 7 月 pp.1 367 - 1 372
- (9) 戸田勝哉, 河野 豊, 塩永亮介, 池谷眞哉: 光触媒を付着させたポーラスコンクリートの基礎的性状 JCI 主催ポーラスコンクリートの設計・施工法と最近の適用例に関するシンポジウム 2002 年 5 月
- (10) 武者浩透, 大竹明朗, 関 文夫, 大熊 光, 児玉明彦, 小林忠治: 無機系複合材料 (PRC) を用いた「酒田みらい橋」の設計と施工 橋梁と基礎 Vol.36 No.11 2002 年 11 月