

ISSN 1880-8468

Technical Report of
International Development Engineering
国際開発工学報告

TRIDE-2008-03

July 11, 2008

大即信明, 斎藤豪, 横倉順治
途上国および環境を念頭に置いた
コンクリートおよび鋼材の研究展望

Department of International Development Engineering,
Graduate School of Science and Engineering,
Tokyo Institute of Technology
<http://www.ide.titech.ac.jp/TR>

途上国および環境を念頭に置いたコンクリートおよび鋼材の研究展望

東京工業大学国際開発工学専攻 大即信明
斎藤 豪
横倉順治

1. はじめに

国際開発工学専攻が1999年4月に設立され、ほぼ10年になろうとしている。この名に恥じぬように国際開発に役に立つ研究を目指してきたが、まだまだである。しかしながら、日頃、断片的に考えている研究テーマがある。

本稿では、途上国および環境を念頭に置いて著者の元来の研究分野であるコンクリートと鋼の分野での研究展望をまとめてみた。

2. 動機および総論

2. 1 動機

2つの動機がある。1つは、著者の一人である横倉がエジプトに我が国ODAで建設した建物に10年経たずして、鉄筋コンクリートにひび割れ、腐食が多く発生したことである。

1つは、著者の一人である大即がシンガポールでのコンクリート暴露試験において塩化物イオン浸透速度および鉄筋腐食速度が我が国の4-5倍あると測定したことである。

このような事態があるということは、他にも相当、問題があると考え調査した。次節に問題があると考えた事例を示す。

2. 2 問題事例

①海砂を好んで使用する生コンクリート工場

まず、モロッコで見学した生コンクリート工場での出来事を紹介する。この生コンクリート工場はモロッコのフェズにある生コンクリート工場である(写真-1)。このフェズは歴史的都市(世界遺産)であり、当時、3つの生コンクリート工場があった。また、この近辺には、大きな河川があり、写真-2に示すように、大量の川砂を採取できた。実際に我が国のODA事業においては、この川砂でコンクリートを作製していた。

しかしながら、生コンクリート工場に準備されている砂の中には、貝殻が混入していた。

[連絡先] 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 東京都目黒区大岡山2-12-1 東京工業大学
大学院理工学研究科国際開発工学専攻教授 大即信明 TEL03-5734-2594 FAX 03-5734-
2594 E-mail: otsuki@cv.titech.ac.jp



写真-1 フェズの生コンクリート工場



写真-2 フェズ近くの川砂利採取状況



写真-1 フェズの生コンクリート工場



写真-2 フェズ近くの川砂利採取状況

また、その砂を舐めた際塩気を感じた。そこで、現地の技術者に砂の採取場所を確認した。その技術者によると、この砂は200kmも離れた海岸からわざわざ運んできたとのことだった。この理由は海砂を使用した場合、同一配合で川砂を使用したコンクリートと比較して、28日後の圧縮強度が1~2割高くなるためとのことだった。

市内には、まだ、それほど多くの鉄筋コンクリート構造物は見当たらなかった。また、年雨量は500mm以下であるため、コンクリート中の鉄筋への水分供給は少ないと考えられる。したがって、鉄筋腐食は生じにくい環境にある。これは、塩害による鉄筋の腐食反応が、まず、塩分により鉄筋の保護膜(不動態)が破壊され、その後水分と酸素の供給のもと進行するためである。しかしながら、今後10年~20年後に内部鉄筋の腐食が顕在化することが予想され、調査および対策の検討が必要であると考えられる。

②アレキサンドリア精米技術訓練センターのひび割れ

このセンターは、JICAの無償援助にて1984年竣工された鉄筋コンクリート造平屋建て(一部中2階)である。最高高さは13.5mで、基本スパンは長辺方向が9.0m、短辺方向が6.0m、7.0mおよび7.5mである。

1984年に竣工したが、その後、仕上げ面および躯体表面に顕著なひび割れが生じた。1999年にひび割れの発生原因ならびに補修方法を含めた今後の対策を検討するために、ひび割



写真-3 センターの柱、梁のひび割れ



写真-4 センター柱のひび割れ

れの目視観察、コンクリートコアの採取、はつりによる鉄筋腐食状況調査を行った。また、砂の採取場において砂の試料を採取した。

この調査の概略は次のようである。

- ・ひび割れ状況の例を写真-3、写真-4 に示す。最大ひび割れ幅は 10mm(我が国で補修が必要とされるひび割れ幅は 0.3 程度³⁾)を越す。
- ・塩化物量は 2~4kg/m³ と非常に多い(腐食が発生する最小の塩分量は 1.2 kg/m³ 程度⁴⁾)。これは、コンクリート製造時に混入された塩化物である可能性が高い。
- ・中性化(コンクリートの pH が低下する現象)は鉄筋位置まで達していない。
- ・腐食生成物の観察などにより、塩化物による腐食と推察される。

以上の結果、海砂や海砂利をそのままコンクリート用骨材に使用したため、塩害が生じたものと推察される。

③シンガポールにおける促進試験

著者の一人(大即)が 1980 年代に JICA の専門家として、シンガポールと共同研究を行った。大即は、当時、運輸省の技官として参加し、カウンターパートは NUS (National University of Singapore) および PSA (Port of Singapore Authority) であった。

この共同研究において、日本、Singapore での現地暴露試験および促進試験を行い、劣化速度や劣化状況を観察・測定することによって、現地条件の厳しさおよび各種コンクリートと各種補修材料の耐久性などを評価しようとした。その一環として、日本の促進試験装置(海水循環型乾湿繰り返し装置)を NUS に設置し、種々の試験をおこない、現地データとの比較を行った。この前提は、促進試験で劣化が促進できるということであった。ちなみに、この促進試験の日本での促進倍率はほぼ 4 倍であった。ところが、一大事が起こった。Singapore 港での、塩化物イオン浸透速度、鉄筋腐食速度の方が、NUS での促進試験結果より数 10% 大きいのである。すなわち、日本の速度の 5 倍程度の速度であった。

このように、環境条件が違くと、我が国の常識の劣化速度の5倍という劣化速度となる。すなわち、環境条件は途上国での構造物の設計・施工を考える際に非常に重要である。

なお、温度の影響だけで我が国と Singapore の鉄筋コンクリートの寿命の差は約2倍である¹⁾ので、湿度、風や波の影響も大きいと推察される。

これらの例および我々の調査²⁾も含めて、

- ・一般に施工がよくない。
- ・温度が高いと劣化が速い。この他にも、厳しい環境条件がある。
- ・場合によっては不適切な外国（欧米および日本）基準を採用している。
- ・品質のよくない地域産材料の優先使用する必要がある。
- ・世界的に CO₂削減を考える必要がある。
- ・重要な社会基盤施設は長寿命化（数100年）

2. 3 なすべき研究の総論

2. 1および2. 2を受けて、以下のような研究が必要と考えた。

①実態調査—特に我が国 ODA で建設された構造物—

エジプトの事例や 2-3 の事例については、JICA（横倉氏）と我が国建設会社の良心的な対応により、補修等を行い事なきを得ているが、他の構造物についての調査が必要である。

これには2つの主な目的がある。

- ・我が国 ODA で建設した構造物が、10年や20年で劣化し使用できなくなることは、ODA の意義がなくなり、かつ我が国の技術力を疑われることとなる。このような事態を未然に防ぐ。
- ・当該国の構造物の早期劣化の実態が明らかとなり、よりよい構造物とするための資料となる。理想としては、当該国の設計・施工の指針やマニュアル作成やそれに関する技術指導を行う。

②施工方法の実態と改良

現地の高級技術者は、いずれもフランスやロシアなどで高等教育を受けており、知識は我々と同等である。しかしながら、現場と書類とは大きな差がある。

横倉氏の調査で現場施工の問題点が相当明らかになってはいるが、組織的な調査による問題点の明確化を行い。それに対する改良技術の提案、検討および現場での実施が望まれる。

③温度および環境の影響

温度が高いと一般に劣化速度が大きくなり、また、CO₂濃度が大きくなればコンクリートの中酸化速度が大きくなることなどが知られている。これらの影響は、現地で調査しなければ分からないので、現地での調査・実験および（我が国での）理論的な検討が必要で

ある。

④不適切な外国（欧米および日本）基準の採用

途上国では、イギリス、アメリカ、フランス等の技術基準を建前として使用しているが、それらを厳密に順守すると、養生温度（外国基準は 20–25℃であるが、途上国でこの温度で養生するのはほぼ不可能）、養生日数（普通ポルトランドセメントで 5 日）、骨材（外国基準に合う骨材は少ない）、ミキサー（外国基準は強制練りで考えているが、途上国では重力式が多数である）などで不適切なことが多発する。

このような不適切な点を、現場主義で再検討することが望まれる。

⑤地域産材料の優先使用

地域によっては、サンゴ骨材、火山性骨材、砂漠の岩石、貝殻などを使用せざるをえず、これらの材料を使用する工夫も必要である。また、種々の粉体（RHA, 各種の灰）の混和材としての利用も考えられる。

⑥CO₂削減

⑤とも関連するが、各種の灰を混和材として利用することは CO₂ 削減からも意味がある。また、できるだけ地域産材料を使用することは輸送にかかる燃料の削減にもつながる。

⑦長寿命化（数 100 年）

初期投資を削減する、あるいは、工事を手抜きする。こういった短期的には利益を得ることができるが、実は、LLC（Life Cycle Cost）としては、大幅に損をするような事が、途上国の方が多いと考えている。

LCC を考えた技術がいかに大切かを明確にし、さらに必要であれば数 100 年の寿命を有する構造物の建設が可能な技術（経済的な）が望まれる。

3. 各論

前章で述べた総論の中で、当研究室で、時間、人材、資金があればできそうな研究を述べる。

①フィリピンおよびタイでの鉄筋コンクリート（RC）の劣化過程に関する研究

温度によって RC の劣化が速くなることは研究し、理解できた。

しかしながら、現地でどのような劣化速度であるかは Mel 氏の博士論文で若干の測定はあるが、一般的にはわかっていない。今後フィリピンおよびタイにおいて以下の現地調査を行い、劣化の実態および劣化速度を把握する。

・塩害関連

—劣化状況の調査（外観観察が主）

—既存構造物での塩化物浸透深さおよび塩化物イオン拡散係数の把握、フィリピンおよびタイでの拡散係数予測式の提案

—数ヶの構造物の寿命予測

・中性化関連

—劣化調査（外観調査が主）

—中性化深さ測定および中性化速度係数の算定、フィリピンおよびタイでの予測式の提案

—数個の構造物の寿命予測

②補修・補強技術の検討

我が国においても、補修・補強技術の研究・開発が行われているが、特に、フィリピンおよびタイの実情に合わせた技術を検討する。

・劣化が進み取り換えや打ち直しが必要な場合は、部材の現地でのプレキャスト化を考える。

・劣化があまり進んでいない場合は、現地で用いる塗料や補修材の使用を検討する。

・なお、本研究室で進めている電気化学的補修工法についても現地での適用を検討したい。

③耐久性を考慮した RC の設計・施工に関する研究

特に、地域産の材料および環境条件を考えた検討を行いたい。

本研究室の検討では、フライアッシュや高炉スラグ微粉末などの混和材は温度が高いところでは強度などの面で有利ということがわかっているので、これらの材料および米殻やサトウキビの灰などにも注目して材料の検討を行いたい。また、施工については、特に、養生について検討する。必要な養生とはなにかを再検討し、守るべき養生はきちんと行い、かつ、できるだけ養生を簡素化できる材料・工法を検討する。

④港湾鋼構造物の劣化実態調査

RC と同様に、港湾鋼構造物の劣化実態調査を行う。

・外観調査—特に、接合部（溶接やその他の接合法）—

・腐食速度の把握

・塗料の劣化状況

・裸鋼材のおよその寿命予測

・電気防食の有効性の検討

⑤地域産材料の使用に関する検討

その地域にあるものをなんとか有効に使用するよう検討する。

・RHA、サトウキビ灰、もみ殻灰、その他の灰

・砂漠の砂を細骨材として使用する。この場合、セメントの粉末度を小さく（粒径を大きく）するなどの工夫が必要となる。

・貝殻（例：モーリタニア）を骨材としてしようすることを検討する。我が国においては、ホタテ貝を粉砕し、細骨材として利用するなど、種々の検討がなされている。

・Reuse、Recycle 再生骨材までしないで、部材段階で再生利用することを検討する。

⑥中堅技術者教育

少し話が変わるが、現場で働く中堅技術者教育が非常に重要である。例えば JCI（（社）日本コンクリート工学協会）の技士研修制度を各国で準用する等の事が考えられる。

4. おわりに

以上、途上国および環境を念頭に置いたコンクリートと鋼材のこれから必要となるであろう研究について述べた。この他にもいろいろあろう。そういった研究があれば、是非、知らせて欲しい。可能な限り、いろいろ検討したいと考えている。

参考文献

- 1) N.Otsuki, T.Nishida, M.A.Baccay, "Influence of Temperature on Deterioration Process of Reinforced Concrete due to Chloride Attack or Carbonation", 10th International Conference on Inspection, Appraisal, Repairs & Maintenance of Structures: pp.41-54,25-26 October 2006 Hong Kong,
- 2) 横倉順治、大即信明、西田孝弘：ところかわればコンクリートもかわるー開発途上国の材料施工の実情ー、セメント・コンクリート No.701,pp.51-57,Jul.2005