

2.2 コンクリート

柳 田 力*

1. コンクリート技術の発展と最近の研究の傾向

昨年 10 月、東京で開かれた第 5 回国際セメント化学シンポジウムにおける挨拶のなかで、アメリカポルトランドセメント協会副会長 Walker 氏は、コンクリートの普及の程度について、うまい表現をしている。

「1966 年の世界におけるセメント生産量は約 4 億 6 000 万 t と推定される。これを約 40 億 t のコンクリートに相当すると考えれば、コンクリートは、世界中の人によって年間 1 人約 1 t 使用されていることになります。重量を基準にすれば、コンクリートより多量に使用されているものは水以外にはありません」。セメント協会の推定によれば、日本でのコンクリート使用量は 1 人あたり 3.2 t といわれる。

表現上のことは別にして、今日、コンクリートが広く親しまれていることは、耐久力が大きくて比較的安価である、どんな形にでもまた水陸を問わずどんな場所にも施工できる、施工が比較的簡単である、交通車両により発生する騒音が小さい、火災に対する抵抗力が大きいなど、コンクリート性来の特徴によるものであろうが、さらに、コンクリートの品質向上、特に最近十数年間におけるコンクリート技術の著しい進歩発展が、大きく影響していることも事実である。

たとえば、材料面では AE 剤、減水剤およびフライアッシュなどの混和材料ならびに中庸熱セメントおよび混合セメントの普及、構造用人工軽量骨材の開発、高強度異型鉄筋の常用化などであり、これらがコンクリートの品質改善と鉄筋コンクリート構造物における設計の合理化に果たした役割りはきわめて大きい。施工としては、自動計量装置、ミキサ、骨材製造設備、締固めおよび運搬機械など種々の機械装置の開発および性能向上をあげることができる。これらが良質のコンクリートを大量に

打設することを可能とし、工期の短縮、工費の節約に大いに役立っている。また、コンクリートの品質管理に早くから統計的手法を導入したことも、品質に対する信頼性を高めている。さらに、レデーミクストコンクリートの普及ならびにこれが JIS 表示許可制度の実施は良質なコンクリートの入手を容易にしている。

特に、著しい進歩を示したのはプレストレストコンクリートの分野である。

中央径間 176 m、ディビダーク式プレストレストコンクリートラーメン橋では、世界第 2 位の名護屋大橋（佐賀県）および中央径間 160 m の天草 3 号橋の建設をはじめとして、PC 工法は、水槽、舗装版、まくらぎ、杭、最近では原子炉と、あらゆる分野に利用されている。また、プレキャストブロックを接合し、これにプレストレスを導入して 1 本の桁とする工法も、多摩橋（東京都）および神島大橋（岡山県）で採用されている。

以上のように、最近におけるコンクリート技術の発展は目覚ましいもので、これらがコンクリートへの信頼を高め、広く多くの需要をひき起こしているといえよう。そして、一つの解決からはさらに多くの課題が生まれて、いろいろ可能性を求めての研究が、今日なお続けられている。

材料面における最近の研究傾向といっても、それは材料本来のより強く、より軽く、より安価で、より長持ちのするものとするといった品質に関する問題であり、コンクリート独特の施工時における取り扱いやすさに関する問題であろう。具体的には軽量コンクリートに関する問題であり、骨材対策の一環となる碎石転換の円滑化をはかる碎石コンクリートに関する問題であり、早期に高強度が得られるアルミナセメントコンクリートに関する問題、コンクリートの短所といわれるひびわれを軽減する問題、さらには気象作用、すりへり、化学薬品に対する耐久性に関する問題である。また、コンクリートの品質を早く見分ける手法についての問題などである。

以下に、最近の二、三の研究について紹介しよう。

2. 二、三の研究の紹介

(1) 人工軽量骨材コンクリート

人工軽量骨材が開発され研究され始めてから約 8 年、実用化に入って約 5 年であるが、一応、設計施工指針も整備されており、鋼橋のスラブ、合成桁のスラブ、鉄道橋の上部構造・下部構造などに使用されるまでに至っている。

人工軽量骨材コンクリートを使用することが有利な場合は、活荷重による応力より自重による応力が著しく大

* 正会員 建設省土木研究所 地質化学部コンクリート研究室長

きくなる長大スパンの桁，地震による影響が大きい高い橋脚，軟弱地盤に設置される大きな基礎構造物などである。また既設橋の幅員を上げたい場合にスラブを人工軽量骨材コンクリートとすることも実施されている。

人工軽量骨材とは，原石（主として膨張性頁岩）を適当な寸法に破碎し，あるいはさらに微粉化して造粒し，これをロータリーキルンで焼成することによって，粒子中に微細な気泡を発生させ，同時に表面を溶融して密実な硬い被膜とした骨材である。

人工軽量骨材コンクリートの特徴は，細粗骨材ともに軽量骨材を使用したとき，コンクリート重量が $1.5\sim 1.7\text{ t/m}^3$ と普通コンクリートの 2.4 t/m^3 に比して著しく軽くなることである。このほか，欠点らしきものは，同一強度の普通コンクリートに対して，ヤング係数が $50\sim 80\%$ とやや小さい，引張り強度およびせん断強度が小さい，耐久性がやや劣る，などがあげられる。

引張り強度が小さいことは，鉄筋コンクリート部材では問題となることはないが，プレストレストコンクリート桁の場合には，プレストレス導入直後の桁上縁部に生ずる引張り応力度に対する許容値を小さくせざるを得ないこととなり，この影響は大きいといわれる。また，支圧を受ける部分など局部的な応力を受ける部分には十分な配筋をする必要がある。許容せん断応力は，同じ圧縮強度の普通コンクリートのそれに対して約 70% の値としている。また，耐久性を普通コンクリートの場合と同じとすることはむずかしいが，AEコンクリートとすること，粗骨材の一部を天然骨材とすることによって，実用上，耐久力のあるコンクリートをつくることができる。

人工軽量骨材の使用量が多くなるとともに，軽量骨材の品質規格の再検討が必要となり，さらに，長期観測を必要とするクリープ，疲労強度，軽量コンクリートを用いた部材の動的性状などの研究，ならびにコンクリートポンプを使用して打込む場合，圧送時の圧力によって軽量骨材の吸水量が変化し，コンクリートのコンシステンシーを低下させ，最悪のときは管を詰まらせるなど，施工上の問題点の解決が今日なお進められている。

(2) 砕石コンクリート

かつては，河川砂利，河川砂に恵まれていたため，これがコンクリート用骨材として広く使用されていたが，年々約 10% ずつ増加する骨材需要と河川管理上から生じた砂利採取の制限とによって，積極的に砕石コンクリートを使用せざるを得ないようになってきている。

砕石コンクリートを使用することは，以前からもダム工事あるいは一部の砂利の入手が困難な地域ではごく普通に使用されており，特別に目新しいことではないが，それらはいわば特定の地域において入手できる砕石につ

いて，時間をかけて行なった調査の結果であり，今日の問題は，砕石コンクリートを全面的に使用する場合に必要で，砕石の品質規準の整備のための研究ならびに諸調査である。

当面，建設省では，全地方建設局ならびに北海道開発局が参加して，普通に入手できる砕石の品質およびコンクリートの配合と砕石コンクリートの品質との関係などを調査する共同試験を行ない，さらに，品質規準については日本コンクリート会議へ委託し，砕石の品質規準案の作成を検討していただいた。これらは，どんな砕石を選べばよいか，配合はどうすべきか，施工管理上の問題点はどうか，ということの調査検討を行なったことになる。

このような現実的な処理は別として，土木構造物は多種多様でありコンクリートの品質もまたかなり相違するので，限りある骨材資源を有効に活用するうえから，この趣旨に沿った品質規準の作成が検討されるべきであろう。そのために，骨材粒子の形状と表面性状がコンクリートの品質におよぼす影響，骨材の品質がコンクリートの耐久性におよぼす影響など，コンクリートの物性にまでさかのぼらざるを得ない基礎的でむずかしい問題の解決が重要である。

(3) アルミナセメントコンクリート

時代の進展につれて 時間に対する評価が著しく変わってきた。新幹線の到着 1 時間の遅延が，列車 1 本あたり約 250 万円の払戻しを生む時代である。建設工事でも例外なく急速施工を要望されるようになり，工事による交通渋滞が著しく重視されるようになってきている。

アルミナセメントコンクリートは， 20°C の水中養生で，圧縮強度は材令 4 時間で約 200 kg/cm^2 を，24 時間で 400 kg/cm^2 を越える値を示すもので，時代の要請に適したコンクリートといえよう。しかし，アルミナセメントの水和によって最初にできる水和物は高強度を発揮しうるにもかかわらず安定したものではなく，時間の経過に伴ってより安定な水和物に変化し，これに従って空げき率が増加するため長期強度が低下する。このことは， 20°C 以下の低温ではきわめて徐々にしか起こらず，10 年以上も強度低下を示さなかった例もあるが，一般には硬化初期において，厚さ 20 cm 程度の床版であっても 50°C 以上の温度となることがまれではないので，強度低下は促進される。従って，低温でコンクリートをつくり，散水などによって，温度上昇を低減することが大切である。また，前述の水和物が変化する際に生ずる遊離水を押えて水和を行なわせるためには，未水和のセメントを残しておくことがよいと考えられ，このためにアルミナセメントの結合水量はポルトランドセメントの約 2 倍

の約 50% であることから、経験的に水セメント比を 45% 以下として使用している。

このような長期強度の低下を改善することはきわめて重要であり、強度低下の割合をあらかじめ推定する方法を確立することも大切である。

アルミナセメントは比較的高価で、まだ日本における実績も少ないが、早期強度の大きいこと、化学薬品に対する抵抗性、耐火性もまた大きいという何物にも代えがたい特徴をもつので、施工時の資料の収集をはかり、長期における品質を確認することなど実験室における研究と合せて、使用者のための有効な指針を早急に作成することが望まれている。

(4) 膨張セメント コンクリート

コンクリートに生ずるひびわれの原因としては、乾燥収縮、温度変化、化学的な異常膨張などをあげることができる。なかでも、乾燥収縮によるものは最も多く起こりうるものである。その現象は、硬化セメントペーストのゲル構造間にある各種寸法の毛細管に含まれた水分が失なわれると収縮が起こり、その自由変形が拘束されてひびわれが生ずると説明されている。

ひびわれは、部材の強さには影響を与えない場合でも耐久性を低下させるも、水に関係した構造物では、著しい透水を生じさせることになる。そのため、逆に膨張作用を与えることにより、収縮を抑制しようとする膨張セメントが実用化されつつある。これはセメントの水和によってカルシウム・サルホアルミネート水和物を徐々に生成させ、それによる膨張を計画的に利用しようとするものである。

さらに、ひびわれを防止するという程度から、この膨張を積極的に利用することによる化学的なプレストレスを導入することなども研究されつつあり、鉄筋コンクリート管の製造に適用して、ひびわれ荷重を高め得たとの報告も見られ、今後、適正な膨張力とその管理について研究を進めると同時に、新たな利用方面の開発も興味がある。

3. コンクリート技術における話題

(1) 繊維類を混入したコンクリート

アポロ 11 号による月着陸のニュースは、しばらくの間大きな話題であったが、この成功の陰には、耐熱、耐摩耗材料についての膨大な研究が進められていたことは想像できる。このような宇宙技術や重化学工業などの進展とともに、使用材料についての要望はますますきびしいものとなるが、これらは単一な材料によっては期待

できず、金属においては、繊維強化、セラミックスとの結合、微細で硬い、高温に耐える粒子の混入、2 種以上の金属を張り合せなどによるいわゆる複合材料が研究されているようである。

コンクリートでも、高強度をうるためにセメントの改善をはかったり、合成樹脂を使用したり、セメントペーストと骨材との付着を強めたり、締固めおよび養生方法の改善をはかるなど、それぞれ研究が行なわれているがコンクリートと鉄筋とが互いに補い合うように、繊維を混入することによって破壊初期に発生するひびわれに抵抗させ、高強度を得ようとする試みも研究されつつある。

繊維としては、金属および樹脂で被覆したガラス繊維が用いられている。金属繊維の場合は、直径 0.1~0.2 mm 程度、長さ 20~30 mm 程度のものを容積で 2~3% 混入することにより引張り強度が倍増するといわれる。ガラス繊維の場合は、Engineering News-Record に Fycrete として紹介されたものであるが、混入するガラス繊維は、3000 本の繊維がスパゲティよりも少し細いくらいにエポキシ樹脂を用いて束ねてあり、長さは 2.5~30 cm 程度にして用いる。実験段階であるが、鋼材を使用した場合に比較して、部材断面積をかなり減少できるといえる。これらのほか、ナイロン、ポリプロピレンなどの合成繊維を混入することも研究されている。

いずれも実験的なものではあるが、実用化されるようになれば、ひびわれ幅をかなり軽減できることが考えられ、特に海中構造物などへの利用が大きく期待できよう。

(2) プラスチック コンクリート

最近における高分子化学の発展は目覚ましいが、プラスチックをセメントコンクリートに混入したり、セメントペーストをプラスチックに置き換えようとする試みも数多く行なわれている。

セメントモルタルに、ゴムラテックス、樹脂エマルジョン、混合ディスパーション、水溶性樹脂などを 20~30% 程度混入したものをポリマーセメントモルタルと呼び、防水性、耐化学薬品性、石材、タイルなどに対する接着性、耐衝撃、耐摩耗性などが、通常のセメントモルタルに比較してすぐれている。また、セメントペーストの代りに樹脂または合成樹脂を 8~12% 程度使用するレジコンクリートでは、エポキシ樹脂、ポリエステル樹脂を使用して、耐化学薬品性、耐摩耗性、接着性、硬化時間の調節可能などの特徴がある。

これらは、その特徴を生かして、薄層舗装、シーリング材、耐食ライニングなどに使用されつつあるが、レジコンクリートは、さらに、製品として、地下ケーブルブロック、マンホール、送排水パイプ、セグメントなどへの応用もすすめられている。

この種のプラスチック コンクリートは、使用され出して日が浅く、研究も施工経験もまだ少ない。そして、比較的安いポリエステル樹脂を使用する場合でも、10~20万円/m³、エポキシ樹脂では30~50万円/m³とセメントコンクリートに比較して著しく高価であるが、プレキャストブロックによる構造物の施工などが考えられる折柄、その接着性と耐食性に期待する点も大きいと考えられる。この種の問題については、化学技術者と土木技術者と相互の協力によって解決をはかることが大いに期待される。

4. コンクリートの問題点

以上、広く親まれてきているコンクリートについての諸先輩の足跡と最近の研究の傾向とについて紹介させていただいた。

建設工事は、今後さらに増大することが予想されているが、コンクリートが信頼され使用されるには、基礎的なまた、いろいろな可能性を求めての研究の行なわれねばならないことはいうまでもないが、施工者が安心して使えるような道ならしもまた必要と考える。

だれも気がついておられることではあるが、まとめてしめくくりとしておきたい。

(1) 骨材の確保について

骨材の需要は今後ますます増加する傾向にあるが、供給面では砂利の採取量の増加は期待できず、大部分は碎石の生産量の増加に期待せざるを得ない。現在、これら碎石は約2000工場で生産されているが、コンクリート用碎石は約20%であり、約70%が道路用碎石である。しかも、生産される碎石は、舗装工法の進展と相まって従来は単粒度で生産されていたものがクラッシャーランおよび粒度調整碎石へと移行しつつあり、わずかに生産される単粒度のものも大部分が20mm以下であり、土木工事に多く用いられている40~20mmは、碎石総生

産量(約1億5000万t)の約10%程度にすぎない。

幸い碎石業界では、「碎石業近代化基本計画」を策定して、コンクリート用碎石の需要増加に備えて、生産設備の改善と品質管理の強化に取り組んでいるとのことであるので、その努力に大いに期待したいと考えている。

(2) コンクリートの品質判定

レデーミクストコンクリートが発展するにつれて、製造工場間の技術力にも大きな相違を生じてきつつある。JIS表示許可工場数が約30%程度である現在、発注者がコンクリートの品質管理にまで注意していることは、一面、やむを得ない点も考えられるが、反面、品質判定のむずかしさを示すものといえよう。もちろん、生産者の向上意欲にも期待するものではあるが、意志感情とは別に、明白な品質判定の手法を確立することが必要であろう。特に、強力な締め固め、促進養生の行なわれた大型のプレキャスト製品の使用が予測される今日、一貫した品質判定のシステムと経済的な試験方法との必要性はきわめて大きいであろう。

(3) コンクリート構造物の補修と改築

コンクリート構造物は耐久であるとはいえ、年数を経るに従って損傷も多い。特に、鉄筋の腐食、凍結融解によるはげ落ち、交通車両あるいは砂礫を含む流れおよび波浪によるすりへりなどが顕著である。また社会情勢の変化などによってコンクリート構造物の改築を考慮するとき、その取りこわし方法に悩むことが多い。どちらも体系化し、むずかしい分野ではあるが、コンクリート構造物が増加すればするだけ、よりいっそう必要性が考えられるので、この方面の研究および資料整理などを重視しなければならないと考える。

以上、現況を述べさせていただきましたが、筆者は浅学であり識見も広くはないので、正鵠を失った点もあるいはあるかと考えます。これらの点をご指摘いただければ幸いに存じます。

第4回トンネル工学シンポジウム

B5判・268ページ
1600円・会員特価
1800円(〒80円)

ソ連の地下鉄/アメリカのトンネル工事を視察して/アメリカにおける山岳トンネル工法/アメリカにおけるトンネル掘さく機/アメリカにおける都市トンネル/アメリカにおけるコンサルタント業務/アメリカにおける請負工事の諸事情について/アメリカのトンネル施工に関する新技術/欧州のトンネル工事を視察して/欧州におけるトンネル請負工事の諸事情について/欧州における山岳トンネル工法/欧州におけるトンネル掘進機について/欧州のシールド工事/欧州における地下鉄工事/欧州における沈埋工事