

コンクリート舗装技術の解説と見通し 1

舗装の先行きを読む(2)

この資料は第13回建設技術セミナーに向けてとりまとめた総論に続く、続編(各論)です。随時各論を続ける予定ですので参考にして下さい。

ここに書いている主な事項

舗装用コンクリートの特徴の解説

C O舗装が減ってしまった原因と、技術動向からの検討

小 西 徹

セメント・コンクリート舗装(以下C O舗装)の技術の現状と今後の見通しについて、建設系技術者へ向けて解説、論述します。技術専門書や教科書等に詳しく書かれていないことを含め、分かりやすい情報提供をめざすつもりです。

§ 1 . はじめに

道路舗装の施工延長では、昭和30年代後半まで日本ではアスファルト舗装とC O舗装とはほぼ半々であった。40年代以降は急速に増えたアスファルト舗装に偏り、現在舗装全体の約95%がアスファルト舗装で、残り約5%がC O舗装であることは前回(舗装の先行きを読む(1))に述べた。これは諸外国の中でも稀であり、多くの先進国では舗装全体の20~40%にC O舗装を採用し、コンクリート系材料で新設・補修し、新たな技術開発も進められているという。

わが国では、元々少ないC O舗装の施工箇所は、道路ではほとんどがトンネル内の舗装(およそ延長500m以上のトンネル)で、その次に空港では主にエプロン(駐機場)である。この他に、港湾でのエプロン(荷下ろし施設)や、大規模な重量貨物取扱い場等が主である。これらの箇所は、通常一般の人が歩いて立ち入ることが少ない場所であるから、C O舗装は、利用者が直接目にする機会が少ない舗装になっているといえる。

C O舗装の設計寿命は20年で行うことが一般的であるが、実際の供用寿命は30年以上の実績があり、初期の建設コストはアスファルト舗装より割高であるが、維持管理を含めたライフサイクルコストをトータルで比較すると、優位であることが検証されている。

一方、アスファルト舗装は、修繕を必要とするまでの寿命が短く(約6~10年)ひび割れ(名神)とわだち掘れ(東名)への対策の試行錯誤を歴史的に繰り返していることは、今も基本的には変わらない。しかし現実には前述のとおりである。

実は、大手舗装会社でもC O舗装は施工機会が少ない故に、すでに施工機械の更新・技術開発もままならず、また機械による本格的な施工経験がない技術者が増え、技術・技能の継承も問題になっている。



トンネル内のコンクリート舗装
スタート地点の機械セット

道路を専門にする技術者でも、CO舗装に関しての設計・施工の経験・知識が乏しいだけでなく、施工を見る機会も少なくなっている。今や日本ではCO舗装は「絶滅危惧種」になっているともいえる。

CO舗装を復活させるためにどのように改善し、技術を継承すべきかを考える一助にしたい。

§ 2. CO舗装が少なくなった原因について、検討すべき事項

CO舗装が少なくなった主な原因は、次の理由にあると考えられている。

1. 長い養生期間が必要であるから採用できる箇所に制約がある
(施工から交通解放までの期間が長い)
2. 目地・補強金物類の設計・施工が煩雑で、供用後不具合が出やすいから
(目地等の構造・配置、施工法、段差、騒音等)から
3. 道路内の地下埋設物がある場所の処理、交差点部等の目地割り・施工が煩雑
4. 施工の生産性が低く技術開発の余地が少ないから、つまり施工コスト(初期コスト)が下げにくく、技術の進歩がなく、多様性に乏しいから
5. 壊れにくい、いったん壊れると補修しにくい上、打ち換えに困難を伴う
6. コンクリート舗装機械で施工を行えるような大規模な施工現場が少なくなってきた

いずれも否定し難い理由である。しかしCO舗装の特徴(普通のコンクリートやアスファルト舗装と違う点や構造、施工法の違いなど)と長所を再認識して、現行の設計・材料・施工法等に改善できる余地はないのか、近年の技術の動向などもにらみながら整理する。すなわち次の課題について論述する。

1. コンクリートの養生期間が長い(施工から交通解放までの期間が長い)ことは宿命ではあるが、舗装としては致命的なことか? どうあることが望ましいか。
2. 目地・補強金物類の設置の問題 (目地等の構造・配置、施工法)
道路下の地下埋設物と交差点部等の施工 改善・工夫の余地はないか。
(次回 その2 で解説と論述の予定)
3. コスト、施工性、品質、性能、維持補修、更新等の問題、技術開発の方向性

しかし近年の技術の進歩や社会情勢の変化から、今日再び見直す余地はないのか、これらの事項を考察してCO舗装技術の解説と先行きへの考察を§ 4.(p.10~)で行う。

ただし、ここでは一般の工法を対象とし、プレキャストのコンクリート舗装(PC,RC版)と、後に概説するRCCP(ローラ転圧コンクリート舗装)についての解説・論考は、除いている。

§ 3 . 舗装用コンクリートの特徴について、再認識のための解説

まず本題に入る前に予備知識あるいは再認識として、舗装にコンクリートを使用するが故に、普通のコンクリートとは違う次の特徴を含めて、質疑応答形式で解説する。

- 1 . 他のコンクリートと違って、なぜ曲げ強度 ($f_{b28} = 4.4 \text{ N/mm}^2$ (or MP)) で管理するのか？ 圧縮強度ではだめなの？
- 2 . なぜ他のコンクリートよりもずっと硬練り(スランプ 2.5 cm)のコンクリートを使うのか？ SL : 5cm ~ 8cm ではだめなの？
- 3 . 他のコンクリートはアジテータトラック(ミキサー車)で運搬するのに、舗装はダンプトラックで運搬するのはなぜ？
- 4 . 使用する粗骨材の最大粒径が 40mm なのは？
- 5 . 交通解放までの期間を考えて、設計基準強度に達する材齢を 28 日より短く、例えば 7 日とか 3 日にできないのか？
- 6 . 目地の配置、構造が複雑なわけは？ (次回 その 2 で解説と論述の予定)

解 説

- 1 . 曲げ強度 ($f_{b28} = 4.4 \text{ N/mm}^2$ or MP = 45 Kg/cm²) で管理するのは？

f₂₈: 材齢 28 日の強度 b : bend (曲げ)

舗装版に作用する応力の特徴として、圧縮応力よりも曲げ応力が卓越するからである。
つまり (コンクリート舗装の構造設計の概説)

舗装に作用する主な応力は、車両の走行載荷(移動荷重)による繰り返しである。路床・路盤の支持力は版の面全体に一樣でなく不均一であるから曲げ応力が発生する。(輪荷重応力)

(タイヤ直下の静止荷重として見れば、圧縮応力は 1 MP 以下と軽微であるので、コンクリートの圧縮応力 = 必要な圧縮強度は検討するまでもない。)

薄くて広い版構造であり日照により表面と下面の温度差が生じ、また乾湿により、拘束されている版端(隅角部や端部)には、伸縮及びそりによる応力を生じる。(そり拘束応力) そった状態の版の上を車が走行し、荷重が繰り返し作用する。

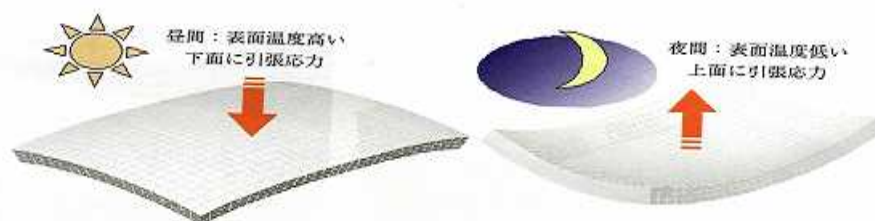


図 - 1 コンクリートの温度変化によるそりの発生

(社)日本道路協会発行 コンクリート舗装に関する技術資料 p.28 図-7.4

分かりやすい図なので使わせていただいた。でもせっかくここまで図示するならこの図に + (正・地盤面に対し凸の状態：左図) のそりと - (負・地盤面に対して凹の状態：右図) のそりという説明をつけてくれておくと、もっと分かりやすかった。

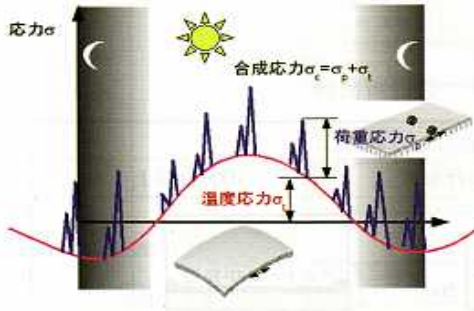


図 - 2

繰り返される温度応力と荷重応力

p.29 図-7.5

詳しくは次回

その2 目地・補強金物類の設置の問題 (目

地等の構造・配置、施工法) で解説

上記のように上載荷重の移動荷重と、版のそりによって発生する曲げ応力が圧縮応力に比べて卓越する。これに耐用年数 (一般に 20 年間) の輪荷重の繰り返し回数を考慮した曲げ疲労耐力を考慮して、曲げ強度と版厚を決定する。

配合、使用骨材等から得られるコンクリートの設計基準曲げ強度としては $f_{b28} = 4.4 \text{ N/mm}^2 (= 45\text{kg/cm}^2)$ が、無理なく得られ経済的である。(経験値) これより低い曲げ強度にして版厚を厚くする、その逆の方法も考えられる。

空港では道路での車両荷重よりも大きい航空機の荷重を想定するので $f_{b28} = 5.0 \text{ N/mm}^2$ で設計する。(注 f_{b28} : 材齢 28 日の曲げ強度)

簡易な交通量に対しては $f_{b28} = 3.9 \text{ N/mm}^2$ でも設計できるが、この場合一般の交通では版厚を厚くとることが必要になり、コストが上がる人が多いので得策ではない。その逆の場合も疲労耐力を考慮すると、有効とはいえない。

そこで経験上と、実績上 $f_{b28} = 4.4 \text{ N/mm}^2$ を採用することになった。

曲げ強度は圧縮強度と違って、セメント量を増やす、あるいは水/セメント比を小さくしても強度が比例関係で伸び続けるわけではない。最終的には粗骨材の硬さ、ペーストとの付着力に支配されるので、筆者の経験上でも普通の方法・配合では $f_{b28} = 7.0 \text{ N/mm}^2$ を越えることは少ないといえる。高い曲げ強度を求めることは経済的にはならない。

ところで曲げ強度試験についての現状を、供試体を作って試験する立場の生コンクリートの試験係 (コンクリート技士または主任技士) にインタビューしてみよう。

質問者: こんど舗装コンクリートを出荷することになりましたが、曲げ強度用の型枠はありますか。

試験係: 曲げ試験は舗装 C O 以外に行うことがなく、普段出荷がないので曲げ試験の型枠は手持ちが少なく、あちこちから借りて集めなければなりません。

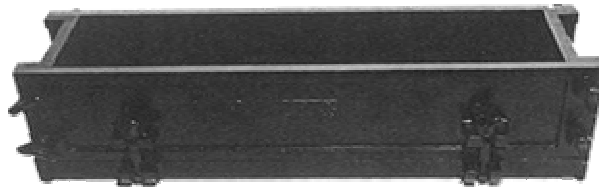
(1 工場に 6 本あればいい方です)

試験練りには最低でも 3 配合 \times 2 材齢 (7 日, 28 日) \times 各 3 本 = 18 本は必要です。1 配合検討を増やすと、6 本ずつ準備を増やす必要があります。

質問者：曲げ強度の供試体はどのように作製するのですか？

試験係：1本の型枠に約12リットル（型枠の内サイズ15×15×53cm）の生コンを詰めることになります。生コン試料だけで重さは30kgを越え大きな負担になります。試験練りには準備する材料、練り上げる試料が圧縮の場合より格段に多くなります。

型枠の重さも10kg近くありますので、型枠にはいった状態で約40kgにもなって、重くて腰を痛めそうです。（曲げ試験の型枠 内サイズ15×15×53cm）



圧縮試験では15cmでもコンクリートは約5.3kg、型枠に入れた状態でも10kg位ですから、曲げ試験は1本で約7.5倍の重さになるのでたいへんです。

質問者：曲げ試験はどのように実施するのですか。

試験係：圧縮試験と同じ耐圧試験器を使いますが、曲げ試験用のアタッチメント（治具）にそのつど交換しなければなりません。このアタッチメントも結構重いものです。供試体を曲げ試験用の治具の上に載せるときが重くて一番たいへんです。

試験の結果も圧縮に比べてデータがバラツキやすい（変動係数が大きい）のです。

質問者：データがバラツクのはなぜですか。

試験係：圧縮試験は載荷が面であるのに対し、曲げは載荷が集中する部分が線であるからだと思います。供試体下面の一番弱いところに破断面がくるところから、供試体の作成にも気を遣います。型枠が反ったり、変形したりしていると、おかしなデータが出ることもあります。

質問者：曲げ試験がたいへんなことはわかりました。では圧縮試験と曲げ試験の関係を求めて曲げ試験に代えて、圧縮試験で配合設計をしたり管理したりできないのですか？

試験係：うーん、私もそう願いたいのですが・・・私自身、生コンの試験係の経験は長いのですが、舗装はめったにないので、詳しいことはわかりません。このように、生コンクリート工場でも、一般的でない曲げ試験はあまり歓迎されないようである。

2. 曲げ試験に代わる試験方法はないのか？

結論としては曲げ強度は圧縮強度との換算ではなく、引張り（割裂）強度に代えて換算、もしくは目標強度とすることができる。

曲げ強度 f_b : 4.4 N/mm² は、引張り（割裂）強度で f_t : 2.6 N/mm² に相当
過去に何度も「曲げ」と標準的な試験である「圧縮」の換算の検討は行われてきた。

筆者も大規模工事で、曲げと圧縮試験の供試体を同時に大量に作って、その関係を調べたりしたことがあったが、基本的に曲げと圧縮の相関関係はよくないことが確認されている。

“曲げ強度 $f_b = 1/5 \sim 1/8 \times$ 圧縮強度 f_c ” という範囲に入ることが多いが、アバウトで幅が広いこの範囲では曲げの代わりに圧縮で代用することは無理、という結論になっている。その理由は、曲げ強度はセメントペーストの強度よりも骨材の品質に、より影響を受けやすい。載荷が線であるなど、破壊特性が異なるためと考えられている。圧縮強度の高いコンクリートが、必ずしも曲げ強度が高くない場合が少なくない。そのため、面倒ではあるが曲げ強度で管理されてきた。

一方圧縮強度に比べて「引張り強度」は曲げ強度との相関がよいことが確認されている。曲げ試験は試験の原理からみて、供試体内部に発生する引張り応力を測定していることに他ならないことから納得できる。

しかしコンクリートの引張り強度とは、あまりなじみがない試験法である。構造上引張り応力をコンクリートが負担することはなく、鉄筋が受け持つことになっているため、一般に研究目的以外に品質管理として試験が行われることはない。

直接引張り試験を行うには、引張り用の供試体の型枠や試験装置、試験の治具を準備するのが簡単ではないので、ここで比較的簡単な間接引張り（割裂）試験という方法が直接法と相関することが確認されている。圧縮用に作成したシリンダー状の供試体（舗装の場合は $15 \times h30$ ）を横向きに（つまり寝かせて）載荷すると割裂という状態になり、載荷軸面に引っ張り応力が作用して次式により、間接的には引張り強度を求めていることになる。



割裂試験は JIS A 1113

「コンクリートの引張強度試験方法」で定義

写真は武蔵工業大学 講師 栗原哲彦氏による

$$f_t = 2 \cdot P / \pi \cdot d \cdot l$$

ここで、 f_t ：割裂（間接引張り）強度（ N/mm^2 ）、 d ：供試体の直径（mm）
： l ：供試体の長さ（mm） P ：最大荷重（N）

割裂強度 = 間接引張り強度 $f_t : 2.6 N/mm^2$ が 曲げ強度 $f_b : 4.4 N/mm^2$ に相当することが「舗装設計施工指針 平成 18 年版」に初めて記載された。

付録 8 施工資料 p.248 「コンクリート舗装の配合設計例」 p.269 「コンクリートの強度換算例」 つまり、引張り強度は曲げ強度のおよそ約 1 / 1.7 倍に相当する。換算式としては

$$f_t = (f_b / 2.21)^{1.40}$$

f_b, f_t, f_c はそれぞれ曲げ強度、割裂強度、圧縮強度が出されている。今後、積極的にこの引張り（割裂）試験を利用して管理できるよう、各方面で努力すべきである。

3. なぜ硬練り（スランプ SL 2.5cm）のコンクリートなのか？

CO舗装には一般にセットフォーム（型枠を設置する）工法で施工する場合、スランプ（SL）が2.5cmになるような配合のコンクリートを使用する。（ただしスリップフォームペーパーを使用する場合はスランプが3~5cmを使用する）

このような硬練りは場所打ちコンクリートでは、ダム（RCD：ローラ転圧ダムコンクリート）用を除いて舗装用だけである。土木用によく使われる SL 8~12cmに比べてかなり硬練りで扱いにくいといえる。建築用の汎用コンクリート（SL 15~18cm）に比べると、同じ材料のコンクリートとは思えない、非常に硬練りである。

諸外国でも機械施工の舗装COのスランプは1.5cm~5cm程度が使われている。スランプで表されるコンシステンシーは、単位水量の大小が直接関係するので、舗装COは単位水量が少ないコンクリートであるといえる。

その理由はCO舗装の性能として、強度（耐力）以外に、**表面の耐摩耗性能と、滑り抵抗性能、耐ひび割れ性能、所定の道路勾配の確保、平坦性**などが要求されるためである。つまり

水セメント比が一般に50%以下で、単位セメント量（一般に280~330kg/m³）が少なくても高い強度や耐久性が得やすい。

（曲げ強度 $f_b = 4.4 \text{ N/mm}^2 (= 45\text{kg/cm}^2)$ は圧縮強度 $f_c = 30 \sim 40 \text{ N/mm}^2$ に相当する、強度が高いコンクリートである。）

（ア）乾燥収縮によるひび割れが生じにくく、耐久性が高いコンクリートが得られる。

（イ）硬練り（=単位水量が少ない）によって、材料分離が生じにくくなる。

施工時に粗骨材が沈み込むことを防ぐ=粗骨材を沈めず、表面にモルタル層を厚くしないことで、耐摩耗性や滑り抵抗性が増す。

道路には所定の勾配（横断、縦断）があり、打ち込んだ後のコンクリートの流動（だれ）を硬練りによって防いで勾配を確保し、高い精度の平坦性を得る。

無筋コンクリートであるので、鉄筋の間に充填するためのコンシステンシーは要求されない。（目地金物やメッシュを使用するが、分類としては「無筋」である）

単位水量が多い（柔らかい）コンクリートを使用した場合は、モルタル分（ペーストや細骨材、水）など軽くて細かい成分が表面に浮き出し、ブリージングや材料の分離によってひび割れが生じやすく、摩耗しやすく、滑りやすい路面になりやすく、また目地部に角欠けなども生じやすく平坦に仕上げにくい。さらに勾配を適切につけることが難しくなる。（これらは一般に舗装以外の構造物では要求されない性能である）

舗装は版全体の中で、表面の性能が特に重要であるからである。

施工しにくい硬練りのコンクリートをしっかり締め固め、丁寧に仕上げることによって、耐久性に優れ平坦性とすべり抵抗性、耐摩耗性のよい舗装に仕上がる。

この性能を確保するために、機械で敷ならし、パイプレータで締め固め、そして表面を平坦に仕上げることができる程度の硬さがSL 2.5 (±1.5) cm である。

高速道路の工事などで強力な締め固め力を持った施工機械を使用する前提では SL 1.5 (±1.0) cm を基準とするが、一般的にはこれ以下は逆に締め固め、仕上げが困難

である。実際の作業でのワーカビリティ（作業性）はスランプ（コンシステンシー）だけでなく、コンクリートの温度、気温、湿度、風、使用材料などにも大きな影響を受ける。

一方、アジテータトラック（車）によって運搬・供給する場合や機械施工ができない場合は、この限りではない。SL=4～5cm、さらに人力施工では6.5cmで施工する。

4. ダンプで生コンを運搬するのは？

直接の理由はスランプ2.5cmのコンクリートはアジテータトラック（いわゆるミキサー車）では攪拌・排出できないからである。通常のアジテータトラックではスランプは4cm程度以上でないと、攪拌・排出が難しい。当然コンクリートポンプによる運搬・打設もできない。

これだけの硬練りではダンプトラックの荷台で分離、流動しにくいいため約1時間以内の運搬には耐えられる。生コンクリートは現場で型枠内に直接荷下ろしして敷均すことが多い。時間当たりの施工量が多いので、1台当たりの荷下ろし速度が早いダンプトラックが適している。ただしスランプ3～5cmのコンクリートを使用するスリップフォームペーパーでの施工は、アジテータトラックで運搬することが多い。

一方、ほとんどの種類の生コンがアジテーターカーで運搬される中で、ダンプトラックを使用する舗装コンクリートは、生コン工場では何かと頭が痛い製品である。つまり舗装用コンクリートの出荷の間、自前で抱えているアジテータトラックを遊ばせてしまうからである。最近では協同組合などでアジテータトラックの共同運行管理体制がとられていることが多くなったので、この問題は若干軽減されてきている。

ダンプで運搬するには、コンクリートの材料分離、乾燥、温度上昇・降下、降雨などを避けるよう細心の注意が必要で、荷台のシート掛けは必須である。プラントのミキサーはアジテータトラックの投入口の高さに合わせて排出口の高さを決めているので、ダンプに積み込む際は排出口から荷台までの落差が大きくなり、材料分離や荷台から荷こぼれを生じやすいので、工夫が必要である。

ダンプ運搬の欠点として積み込み・運搬時に材料分離してしまうと、再攪拌できないことが大きい。またトンネル内や建屋内などの場所の施工で、建築限界（高さの制限）によってはダンプアップが十分できない場合があり、硬練りである故にコンクリートの荷卸しが円滑にいかないことがある。

プラントでの練り落とし時と、打設場所でのスランプの低下（スランプロスという）、空気量の減少（エアロスという）等を考慮した品質管理が重要である。できるだけ現場から近く、また出荷能力に余裕を持った生コンプラントを選定する。また施工時期と運搬方法や運搬時間を考慮した配合計画を行う必要がある。

ダンプトラックによる運搬には、上記のとおり得失がある。一方現在増加しているスリップフォームペーパーでの施工には、ダンプトラックよりむしろアジテータトラックでの運搬が中心になる。

今後はセットフォーム工法でも、高性能減水剤等の使用によりアジテータトラックによる運搬も可とする柔軟性も必要となろう。

5. 最大粒径が 40 mm の粗骨材を使用するのは？

特別な場合を除いて、厚さ 20～30 cm の舗装では、粗骨材の最大粒径は 40 mm を使用している。最大粒径が小さい方が、施工性、仕上がり精度がよいので、20mm あるいは 25mm の方がよさそうであるが、頑なに 40mm を守り続ける理由は、次にある。

最大粒径が大きい方が、同じ強度を得るための単位セメント量が少なく、ひび割れが生じにくく滑り抵抗、耐摩耗性が増す。

無筋コンクリートであるので、鉄筋間の空きへの充填性を考慮する必要がない。機械施工での十分な締め固めにより、良好な平坦性や表面性状を得ている実績がある。

一方、路面が粗面になり騒音発生、タイヤの摩耗が生じやすい、などの欠点もある。人力施工や歩道など 20 cm 以下の厚さの施工、転圧コンクリートでは厚さに関係なく最大粒径は 20mm を用いることが多い。



路面がよく使い込まれて粗骨材 (Max40mm・当時は玉砂利を使用) が露出しているコンクリート舗装
(国道 35 号 佐賀県有田市)

6. 設計基準強度に達する材齢を、例えば 7 日とか 3 日とか短くできないのか？

早期強度を発現させるため、7 日や 3 日強度で配合設計や品質管理、養生をすることも、一つの方法である。一般に 28 日の標準材齢に対し、普通ポルトランドセメント、高炉セメントなど、早強性以外のセメントで強度発現を早くするためには、次の方法で実現することも理論的には可能と考えられる。

単位水量をさらに減らす

(ワーカビリティを確保するために高性能 AE 減水剤を使用する)

セメント量をもっと増やす (水/セメント比を小さくする)

粉末度の大きいセメントを使用する (ブレン比 3000 以上)

促進養生 (温熱を加えるなど) を行う

コンクリート二次製品の製造では、スランプ 0～3cm のコンクリートを振動によって締め固め、オートクレーブ養生 (高温高圧蒸気養生) する品種も多い。型枠の回転効率アップや養生期間短縮による在庫管理のため、またクリープ変形や乾燥収縮量低減など品質向上のため促進養生を行う。現場施工でも蒸気養生を行う場合がある。

実際のところで現場施工の舗装でも、標準養生 (恒温室～定温水槽) した供試体は、3 日程度で交通解放ができる 3～3.5 N/mm² 程度に達することが多い。(現場では、現場の環境条件に左右されるので、標準養生と同じではない)

しかし小さい面積を施工する場合を除いて、広い面積を一度に大量に打設すること

が多いので、設計基準曲げ強度（配合強度はこれに割り増し係数を掛けた値を用いる）に達する材齢を3～7日にすることは、いずれも施工性、ひび割れに対する対策、表面の摩耗対策、目地部の角欠けなどへの配慮、養生方法と養生に必要なコスト増など、新たに出てくる問題への対処が必要になる。

また早期に交通解放すれば、本来徐々に強度が伸びていく性質を抑制することになり、結果的に耐久性に影響を及ぼす。むしろ逆に工期が長い、例えば高速道路や自動車専用道路などでは、配合セメント量を低減するために、28日よりも長期の材齢（例えば91日：13週）で指定した方がよい、との考え方からの試みもある。

ここから、本題に入ろう

§ 4. CO舗装が少なくなってしまった原因と、技術動向からの検討

1. 養生期間が長い（施工から交通解放までの期間が長い）ことが、致命的な原因か？

アスファルト舗装では施工終了の数時間後（一般には転圧後、舗装体の温度が50以下に下がった後）には通行可能である。一方、現行のCO舗装では季節や使用するセメントの種類、配合等にもよるが、交通解放に必要な強度に達するまで少なくとも7日以上養生日数を必要とする。

従って、供用中の現道をCO舗装に打ち替えるか、あるいは既設のCO舗装を同じようにセメント系材料で補修することは交通規制期間の問題などから困難であることが多い。それが一因でCO舗装は廃れていったことも事実である。そこで、

凝結を早くし強度を高め、養生期間を短くできないのか？

COにもアスファルト舗装並に交通解放までの時間を短くし、COの養生期間を短くする技術・工法には一定の需要がある。その需要を受けて、養生期間を短縮する技術（工法・材料等）は、種々開発されて特殊な場所や、補修工事等に採用されている。

大きく分けると

使用するセメントあるいは混和材料等に急結性、超早強性を持たせたもの

（ジェットセメント、スーパーセメント等）

コンクリートの単位水量を極端に少なく（100kg/m³程度）し、ローラ転圧によって締め固める工法

（RCCP：ローラ転圧コンクリート舗装）

施工後に余剰な水を除去して早期に強度発現をさせる工法（真空コンクリート工法）

無機セメント以外の有機材料、ポリマーセメントを使用して化学反応により硬化をさせる工法
等の工法・材料が開発され、普及している。

速硬性を有するセメント、混和材料

このうち 施工後数時間の養生で供用ができる速硬性を有するセメントには商品化されて、以下の3種類がある。

アルミン酸カルシウムを主成分とするクリンカータイプ

ポルトランドセメントの成分と類似のもので構成されている。「ジェットセメント(ジェットコンクリート)」という商品名で、太平洋セメント系列の小野田ケミコと、住友大阪セメントが営業している。

アルミナセメント系

セメント成分の一つのアルミの原料である「ボーキサイト」と石灰石を微粉碎して速硬性成分であるカルシウムサルフォアルミネートを製造し、適当量をポルトランドセメントと石膏等に混合したタイプ。電気化学工業が「デンカスーパーセメント」という商品名で営業している。

リン酸マグネシウムを主成分とするタイプ。

リン酸セメントと称され、BASFポゾリスが「エマコT545」(旧名称：マスターセット45)道路(舗装)用としてNIPPOが「スーパーセット45(OEM)」という商品名で営業している。

この3種類の超速硬コンクリートは、種類により多少の違いはあるが、ハンドリングタイムは約1時間以内であり、一般的条件下では施工終了後約1時間で供用できる。

この他、次の材料がある。

超早強ポルトランドセメント

早強ポルトランドセメントよりもさらに初期強度の発現成分エーライト(C3S)を多くし、粉末度を細かくして早強ポルトランドセメントの3日強度(普通ポルトランドセメントの7日強度相当)を1日で発現する。

「JIS R 5210 ポルトランドセメント」に、今でも掲載されているが需要が少ないため現在は製造されていない。生産ロット(1回に生産する単位)を大きくしないと、セメントの生産コストを低減できないことから、また品質上からも流通上からも、製造した後に一定の期間しか保管できないので、需要が少ないセメントは生産されなくなっている。超早強ポルトランドセメントはJISには規定されていても今後も生産される可能性は少ない。

混和剤として急結剤、早強剤が開発されている。

現在は主に吹き付け用あるいは材料分離を防ぐためのセルフレベルリング用など、特殊な用途向けである。

RCCP(ローラ転圧コンクリート舗装)工法

早期に交通解放できる他、施工上ボトルネックになる目地金物、メッシュ類を使用しない、大規模なコンクリート用の施工機械編成でなくアスファルト舗装機械を転用できるなど、従来のコンクリート舗装の欠点とされていた事項を改善するものとして期待された。しかしコンクリートの配合、品質管理等が煩雑であったり、出来映えにバラツキがあったりするなど、評価が分かれ貨物ヤードの一部を除いて大規模な施工は行われなくなった。また現状では、養生期間も1~3日は必要で、特に表面保護には早期交通解放はトレードオフになる。

真空コンクリート工法

打設直後のコンクリート面に真空マットをかぶせ、真空ポンプによる大気圧を作用させ

て、コンクリートの水和反応に不必要な余剰水を除去する工法である。打設直後の水分を15～20%脱水することができ、強度の増加および耐摩耗性が高くなる他、通常のコンクリート舗装に比べて養生時間が短く早期に交通開放できるなどの特徴がある。

真空マットをかける前に、すべり止め用のリング（丸型のゴムリング）を設置しておくことで仕上がり面に丸型の溝ができ、すべり止め効果を発揮する。

この丸型の溝ができるため、坂路など特定な場所で施工されること以外、現在は少ない。

ポリマーコンクリート

無機セメントの代わりに、高分子材料（ポリマー：樹脂のこと）を使用する材料である。セメント系に比べれば、化学反応に要する時間が短くまたコントロールしやすい。強度や耐久性に優れる材料が多い。現在は大部分が補修・補強用に使用されている。

しかしこのような養生時間を短くできる材料、工法もありながら、新設工事では特別な箇所を除いて採用されず、ほとんどは部分的な緊急補修用などの用途に限られている。

それは、

早く凝結し強度を高めるコンクリートには、一般的に次のような短所がある。

発熱量、体積変化量（膨張、収縮）が多く、収縮時にそりやひび割れが出やすい。
（例外としてリン酸マグネシウム系やポリマーセメント系の材料は、体積変化が少ないことをセールスポイントにしている。）

交通解放時間から初期強度は大きいが、後期養生による長期強度が伸びにくい。

- ③ クリンカータイプはハンドリングタイムが極端に短いため、専用の混合装置を現場内に設置する必要がある。一般の生コンプラントで製造し、運搬できないので大量施工に向かない。従って施工に自由度が少ない。

ハンドリングタイムを伸ばす要望に対し、“マイルドジェットコンクリート（セメント）”という名称で改良タイプが出され、凝結遅延剤（例ジェットセッター）を用いる材料もある。ただし専用装置からしか混合供給できないことには変わりはない。
薄層で施工するために、ひび割れを拘束・分散するために鉄筋補強や繊維補強が必要な場合が多い。

製造、流通などのコストが加わり、全体のコストが非常に高くなる。（ジェットコンクリートでは材料費が普通のコンクリートの約10～15倍）

一方、コンクリート舗装が日本よりはるかに多い欧州では、補修に超速硬コンクリートよりもハンドリングタイムが長く養生期間が早強セメントの場合より短い、1～3日で交通解放できる強度を発現する超早強コンクリート、通称 One day コンクリートが使われている。また近年は凝結まで6～8時間程度の Half day コンクリートが実用段階になっているという。たとえば

ドイツ：既設コンクリート版の打ち替えに、施工日夕方には交通解放可能な、日本での超早強コンクリートに近い6時間後の圧縮強度12MPa程度になるコンクリートを用いている。

オーストリア：ウィーンの高速道路で、金曜日の夕方か、土曜日の朝に補修を開始し、日曜日の夕方には交通解放する場合、3日後に交通解放には $W/C = 0.42$ 、1日で解放する場合は $W/C = 0.40$ 、12時間以下では $W/C = 0.36$ 以下と使い分けられている。

ベルギー：超早強コンクリートを補修に使う場合、その強度は30～36時間で圧縮強度は40MPaである。（いずれも（社）セメント協会誌 セメント・コンクリート No.751 Sep 2009）

コンクリート舗装を採用するには、養生期間が長い（施工から交通解放までの期間が長い）ことが日本では大きな障害になったにも関わらず、その一部を解決する可能性がある超早強ポルトランドセメントは、需要が少なかったことから現在生産されなくなっている。わが国では、補修での役割を少量の単位で生産が可能な超速硬コンクリートにたよってきたが、価格を含め問題は少なくなかった。つまり一般的に適用される材料や工法が開発されなかった。

需要がなかったから、技術開発されなかったのか、技術開発されなかったから需要が生まれなかったのか、いずれにも原因はあったと思われる。

超速硬型コンクリートの欠点を改善し、コストを低く抑え、欧州で使用されているような早期交通解放できるコンクリートを製造するためには、コストと時間がかかる新規の技術開発ではなく、既存の技術や製品の応用によることが効率的ではないか？

つまり超早強セメントの生産を待つのではなく一般のセメントに簡単に添加できる、凝結促進用の混和材料を開発して、必要な現場に適用することも選択肢のひとつと考えられる。

止水用や吹き付けコンクリートでは急結剤の開発が進み実用性が高まっているが、舗装の現場毎の諸事情に応じられる、凝結や硬化を促進できる混和材料の応用が必要である。

硬化を促進する促進剤の代表的なものに塩化カルシウムがあるが、鉄筋類を腐食させるため、これに代わり防錆性もある亜硝酸カルシウムに、早期の強度発現を促進する性質が確認されている。

改めて、長い養生期間を必要とすることは舗装には致命的か？を考える。

高速道路やバイパスの新設など、工事期間が長く、養生期間が十分とれる箇所でも、コンクリート舗装の採用に二の足を踏まれることが多い。新設のバイパスのようにまた出入り制限のある自動車専用道路のような区間では何が問題になるか？バイパスでは既設道路との平面交差点では、養生期間が長いことは阻害要因になるが、それ以外では問題なさそうである。しかし作業用の通路や資材運搬路として舗装対象区間を使用することも多いので、これも通行制限期間が長いことは施工方法、施工順序、場合によっては施工材料等に工夫が必要である。

しかし養生期間が長い（施工から交通解放までの期間が長い）ことは、施工場所や施工方法によっては致命的とは必ずしもいえない場合もある。トンネル内がその代表例である。アスファルト舗装にはない、コンクリート舗装の特性を生かすべき場所は少なからずある。にもかかわらず、その特性を生かしつつ、欠点を改善し施工法を工夫したり、道路利用者や沿道住民に説明したりする努力が欧米に比べて足りなかったのではないか。それではこれからはどのような技術や工法、工夫が必要か考えてみる。

2. 早期に強度発現が進む、舗装用に望ましい混和材料・配合と工法

今後は経済性からも性能・品質からも、また取り扱い性からも特殊なセメント、特殊な移動式混合装置を用いなければならないジェットコンクリートのような超速硬ではなく、一般の生コン工場から供給できるコンクリートへの混和材料の添加や配合、工法などで、材料・工法の選択に幅が出る必要がある。

これまで早く凝結し強度を高め、養生期間を短くするニーズはあったものの、わが国ではアスファルト舗装に頼りすぎ欧州のように本気で材料、施工機械、施工法等の技術開発に取り組むことを怠ってきた。それも今日のコンクリート舗装の低迷の一因になっている。

これからの望ましいセメント系材料

既存の普通ポルトランドセメントや早強セメント、高炉セメントに添加できる硬化促進材料（混和剤）ワーカビリティを確保しつつ単位水量を低減できる高性能 AE 減水剤（促進型）等で、一般の生コン工場で混合しスリップフォームペーパーでの施工の普及に向け、アジテーター（トラック）で運搬可能。

ハンドリングタイムとしては現行の生コンと同程度。

現行の超速硬コンクリートでは大規模施工においてハンドリングタイムが短すぎる。交通解放までの必要な養生時間は4～24時間程度。状況に応じて調整できる。

現行の舗装機械、スリップフォームペーパーで施工ができ、価格も現行の生コンの2倍以内。超速硬コンクリートはコスト高すぎて一般の工事には採用が難しい。

せめて2倍以内が望ましい。

新設と補修に使用することができる強度、品質、そしてひびわれ、体積変化が少なく、表面強度（耐摩耗性）が高く長期的にも強度が伸び、耐久性を確保できる。

交差点、出入り口等、早期交通解放が求められる区間に、散布、浸透または添加することで部分的に強度発現を促進する材料・配合、（遅延剤と逆の効果）、分割施工法。

こういったきめ細かいニーズに対応できる技術・工法を開発する必要がある。

これによって、施工対象区間全部を現行のように同じ材料、配合、施工法で施工するのではなく、養生可能な時間、あるいは交通解放すべき時刻に応じて施工区間毎に工法にメリハリを付け、全体の施工コストの上昇を抑制することも検討すべきと考える。それぞれの材料の特徴を生かした、例えばアスファルト系、ポリマー系とのコンポジット舗装等を部分的に採用することも必要である。

3. 下・上層のコンクリートの配合の工夫

現在は鉄網を挿入することを標準としていることから、コンクリートはそれぞれ下層と上層に分けて敷ならし、鉄網を敷設後一体として施工しているが、下層と上層のコンクリートは同一の材料と配合によっている。

アスファルト舗装では基層・表層の異なる配合の混合物を使用するように、例えば30cmの厚さのコンクリートでは鉄網を敷設する位置に合わせて下層を下面から20cm、上層を表面から10cmとして、下・上層それぞれ役割・要求性能に応じた材料・配合を工夫し区別することも一つの方法として考えられる。

§ 5 . おわりに

日本国内では名古屋市内や東北地方の一部で、都市内の片側 2～3 車線の幹線街路のかなりの面積をコンクリートで舗装し続けている、“その気になればできる”例がある。バスレーンなど特定の車線や区間だけでなく、交差点、出入口もすべて分割して施工している。

材料の開発だけでなく、施工法、道路利用者や沿道住民への理解と協力の要請に、相当な努力と工夫をしていると思われる。

新設のバイパスだけでなく現道をコンクリートで舗装している名古屋市内等では、どのように施工しているのか？



(社)日本道路協会

「コンクリート舗装に関する技術資料」の
口絵写真から引用

交通量が多い主要街路で、交差点部を含めて全車線がくまなくコンクリート舗装で施工されている状況

次回は **その 2 . 舗装用コンクリートの目地の機能、金物等による補強の解説**
道路下の地下埋設物と交差点部等の設計・施工
目地等の構造・配置、施工法の改善・工夫の余地への考察

について述べる。