

舗装コンクリートの配合と施工

第1講 2011年7月27日

NPO法人 西日本建設技術ネット

HP <http://www.gijutu.com/>

副代表理事 小西 徹

npo NICE net

ここでお話しする内容 (第1講)

コンクリート舗装の特長

コンクリート舗装が少なくなった(敬遠されてきた)主な理由

今はどんな場所でコンクリート舗装が採用されている？

コンクリート舗装の配合設計に関する疑問4つ

なぜ曲げ強度で配合を決めて管理するのか？

スランプが2.5cmのもの硬練りが必要な、理由は？

ダンプトラックで生コンを運搬するわけ？

材令を短くしないのはなぜ？

コンクリート舗装の施工厚さ・施工幅・目地等の配置

施工の技術開発、生コンクリート供給等の課題

長寿命・多機能で、経済的なコンクリート舗装をもっと増やそう！

はじめに

昭和40年代(前半)は、コンクリート舗装 が最も盛んに、機械化施工された時代

全国各地で国道のバイパス建設が進められ、交通量が多い区間や積雪寒冷地では、長い施工延長でコンクリート舗装が採用された。(現在は大部分がアスファルト舗装でオーバーレイされている)

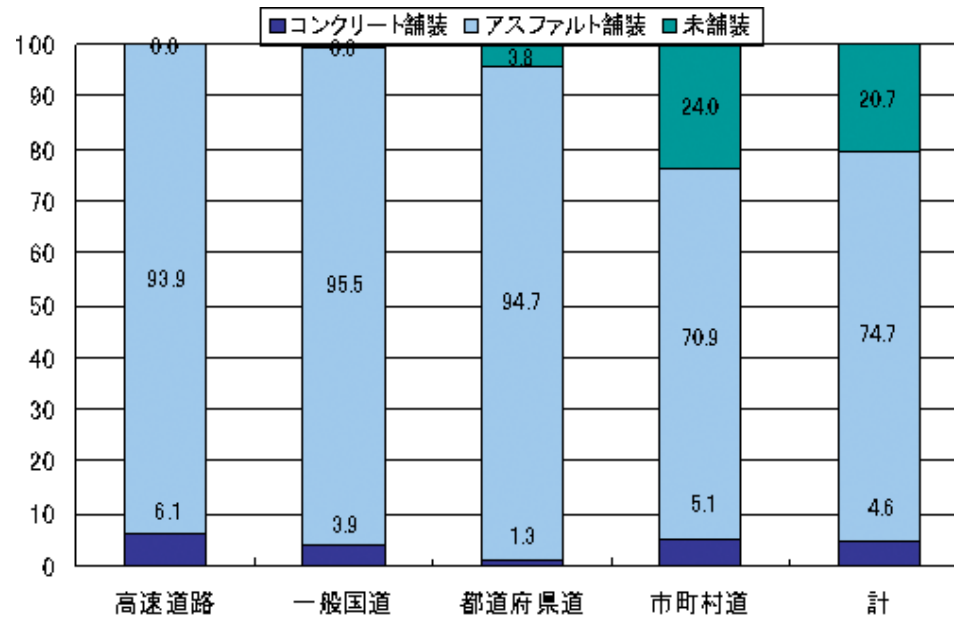
当時はまだ生コンクリート工場が少なく供給能力も十分でなかった
ので、多くの工事で工事用プラントを現場に仮設して施工した。

(大手舗装会社は仮設用コンクリートプラントを保有していた)

その後大規模工事以外は生コンによる供給中心となった。

セットフォーム工法のオンレール方式での施工が中心。
スリップフォームペーパー(後述)は、試験的に導入されたが、普及
しなかった。

今では、舗装 = アスファルトという現状で、コンクリート舗装は舗装全体の約5%と、絶滅寸前の状態になってしまった。



2006.4.1現在 道路統計年報2007

道路種別ごとの舗装延長比

(社)セメント協会HPより

コンクリートでない、耐久性や性能が確保できない最低限の箇所のみでの採用となっている)

現在日本では舗装面積全体の約5%を占めるのみであるが、欧米ではコンクリート舗装が約1/3以上占める国もある。

日本はコンクリート舗装が少ない、特異な国となっている。

主要国でのコンクリート舗装の割合 セメント・コンクリート誌(2011・2) (社)セメント協会HPより

国名	コンクリート舗装の割合
アメリカ合衆国	インターステイツハイウェイの約60%、連邦助成幹線道路の約17% コンポジット舗装21%
ドイツ	高速道路の約25% (CRCPはない)
フランス	高速道路の約15% (新設30%) 国道の約10%
イギリス	高速道路の約20% 幹線道路の6%
カナダ	重交通道路で使用
オーストリア	高速道路の約2/3 (延長約4000km)
オランダ	高速道路の約5%
ベルギー	高速道路の約40% 全道路の約17%
中国	全体の5%前後
韓国	高速道路の約60% , 一般国道の2% (約290km)

コンクリート舗装の特長 (アスファルト舗装に比べて)

わだち掘れに強い	重交通道路・貨物置き場等
摩耗に強い	積雪寒冷地
路面(表面)が明るい	トンネル内
油類に溶けない	料金所・駐車場など
火災・熱に強い	トンネル内

路面温度が上がりにくい (明色性により約10℃低い)

寿命が長い

= ライフサイクルコストがアスファルト舗装より安くなる

設計寿命 20年, 実績は30年超 (アスファルト舗装は10年)

素材として劣化しない

大型車の走行燃費が向上(0.8% ~ 4.8%)する

特性(長所、短所)をよく知り活用すること、
短所を改善する技術開発を進めることが重要

コンクリート舗装にこのような特長があるにもかかわらず

道路舗装はアスファルト舗装中心になった

コンクリート舗装が少なくなった(敬遠されてきた)主な理由(短所)
(代表的な7項目)

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. 道路内に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
3. 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)

続き

- 4 . 壊れにくいですが、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
- 5 . アスファルト舗装に比べて、平坦性などの乗り心地が劣り、走行時の騒音や振動が問題になりはじめた
- 6 . コンクリート舗装機械編成で施工を行うような大規模な施工現場が少なくなった
- 7 . これまでは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、技術の進歩が少なく、多様性に乏しかった

コンクリートの特長を生かし、短所を改善する 技術の方向

費用対効果からみて、申し分のない舗装は確立されていない

1. 長い養生期間が必要(施工から交通解放までの期間が長い)
例:短期材令(通称ワンディコンクリート,セメント、混和剤等)の
開発
2. 道路内に地下埋設物がある場所の処理、交差点内
共同溝類の整備を進捗、プレキャスト化
3. 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)
今後の技術開発が必要

次のページへ続く

前の続き

4. 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

構造・材料 (コンポジット舗装 高耐久性、プレキャスト化)

5. アスファルト舗装に比べて、平坦性などの乗り心地が劣り、走行時の騒音や振動が問題になりはじめた

施工機械、配合、施工技術 構造(コンポジット)

6. コンクリート舗装機械編成で施工を行うような大規模な施工現場が少なくなった

政策の転換

7. これまでは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、技術の進歩が少なく、多様性に乏しかった

欧米先進国の技術導入(スリップフォーム工法の普及
設計・施工技術)

需要が少ないから技術開発が進まなかった、
技術開発が進まないから需要が生まれなかった。 [npo NICE net](#)

今はどんな場所でコンクリート舗装が採用されている？

道路……トンネル内 (延長約500m以上)
料金所 バスレーン 駐車帯など
重交通の道路 (バイパスなど)

空港……駐機場(エプロン), 誘導路の一部
港湾……エプロン (荷卸ヤード)

その他……重量貨物取り扱い、置き場など

大部分が一般の人が歩いて立ち入ることが少ない場所



名古屋市內中心街路のコンクリート舗装

(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

ここから本題

舗装コンクリートの配合設計等に関する疑問 4つ

その1. なぜ曲げ強度で配合を決めて管理するのか？

(圧縮強度ではだめなの？)

その2. スランプが2.5cmもの硬練りが必要な、
ほんとうの理由は？

(スランプが大きい方が施工が楽なのに！)

その3. ダンプトラックで運搬するわけ？

その4. 材令を短くしないのはなぜ？

(設計基準強度を満たす材令を、例えば7日で配合設計すればよいのに！)

その1 なぜ曲げ強度で配合を決めて管理するのか？

- 舗装版に作用する応力の特徴として、圧縮応力は問題にならず、それよりも曲げ応力がはるかに卓越するからである。

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。(版を曲げる作用が主に働く)

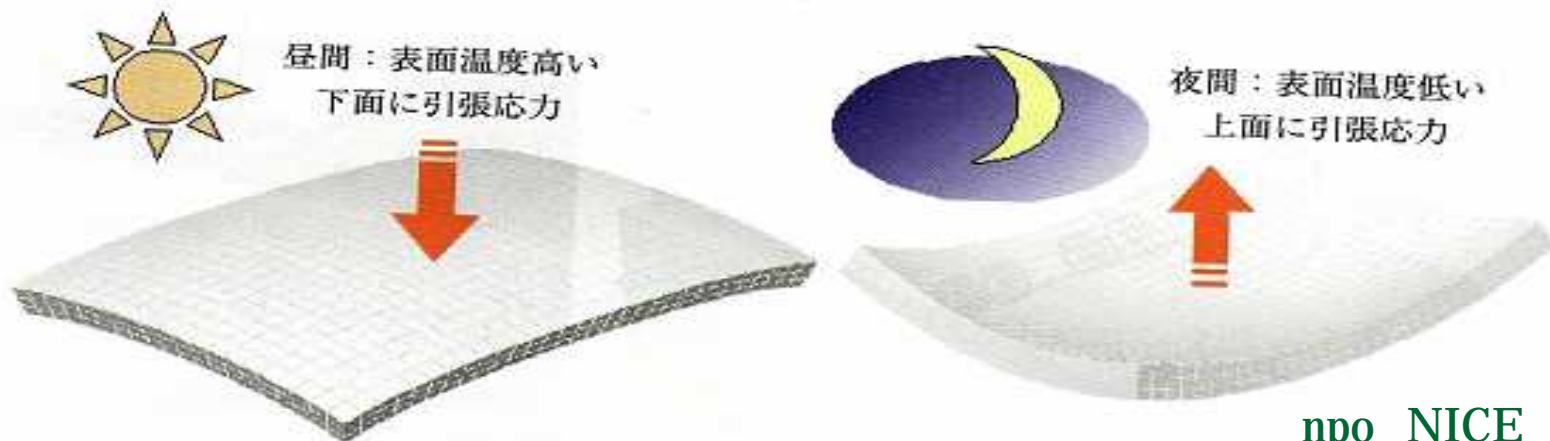
版を支える路床・路盤の支持力は面全体に一様でなく不均一である。

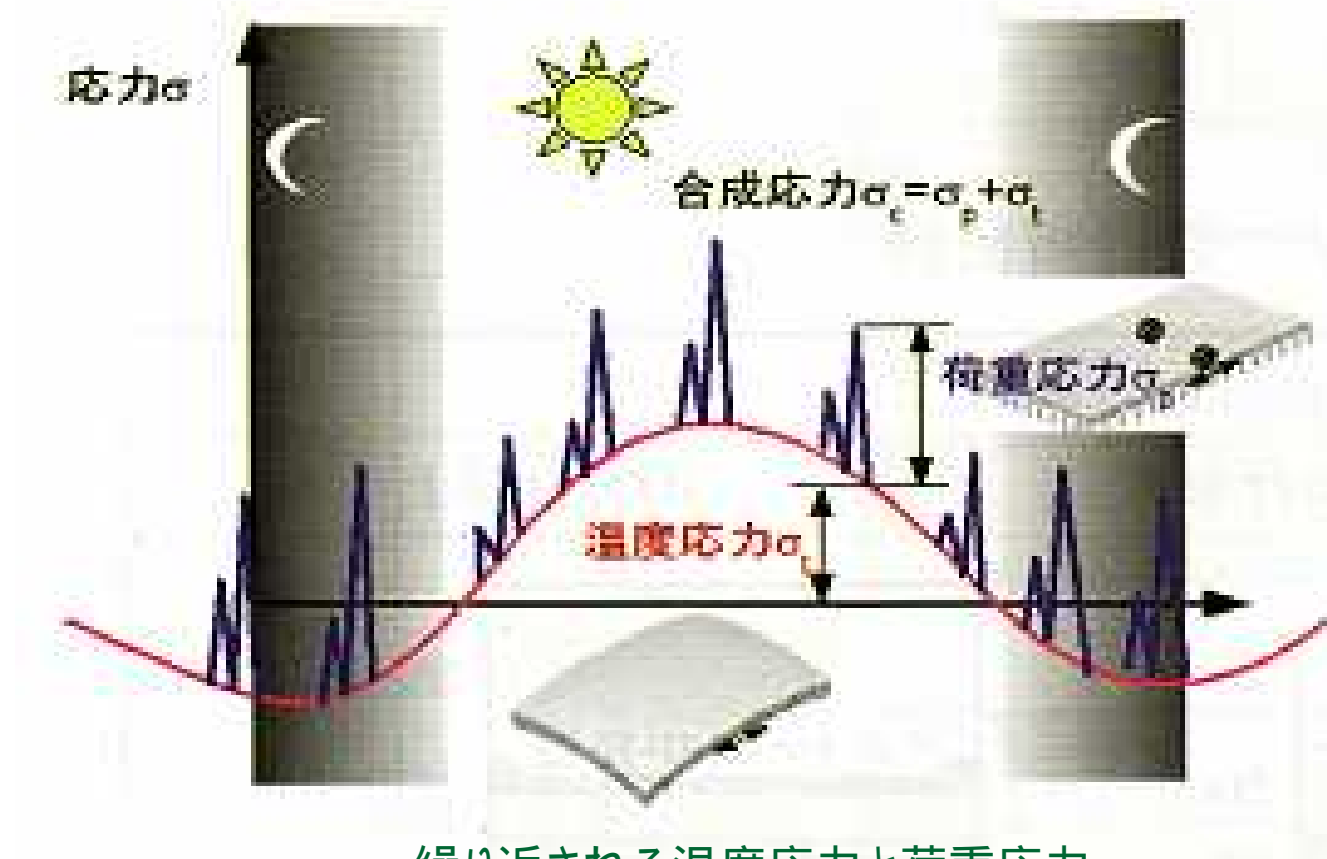
版にも温度変化や乾湿等により、版の伸び縮みやそりなどの体積変化が生じるから、これを拘束する(抑えること)によって版に曲げ応力が発生する。

タイヤ直下の静止荷重として見れば、圧縮応力は1MP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、温度変化による伸縮が何らかの理由で妨げられると温度応力(内部応力)、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て、荷重が繰り返し作用するので曲げ応力による疲労が設計時に検討対象となる。

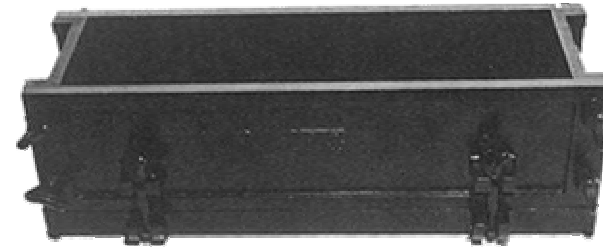




繰り返される温度応力と荷重応力

内部応力とそり応力を考慮した実用的な温度応力公式を用いて版厚を決定

でも、やっかいな “曲げ試験”



(15 × 15 × 53 cm)

- 型枠を含めて試料・供試体が重い (試料約12リットル、30kg)
型枠込みで約50kg
- 型枠を必要数量揃えることが不経済 (めったに出荷がない)
- 曲げ試験用治具への交換が面倒
- 試験結果にバラツキが出やすい

曲げ強度の代わりに圧縮強度から換算できないのか？

圧縮強度と曲げ強度の厳密な換算は困難

“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

(曲げ強度 4.4MPaに対する圧縮強度 34MPa)

または “ $f_b = (0.42 \times \text{圧縮強度 } f_c)^{2/3}$ ”

土木学会コンクリート標準示方書 (設計編)

曲げ強度の代わりに圧縮強度で代用して換算することは厳密には困難

圧縮強度が大きいからといって、必ずしも曲げ強度が大きくなるとは限らない

曲げ強度試験

「JIS A 1106 コンクリートの曲げ強度試験方法」

2

$$\sigma = M / Z = P l / b d^2 \quad [\text{N/mm}^2]$$

ここで、M:試験体に生じている最大曲げモーメント,
Z:断面係数[mm³],

P:最大荷重[N],

l:下部支点間距離[mm] (450mm),

b:試験体断面幅[mm],

d:試験体断面高さ[mm] (b, dともに150mm)

ここでの寸法は供試体150×150×530mmの場合

npo NICE net

曲げ試験に代わる「割裂(間接引っ張り)」試験

「JIS A 1113「コンクリートの引張強度試験方法」

$$f_t = (f_b / 2.21) \cdot 1.40 \quad (\text{N/mm}^2)$$

引張り強度は曲げ強度のおよそ約1 / 1.7倍に相当する。



ここで、

f_t : 割裂(間接引張り)強度

f_b : 曲げ強度 (N/mm²)

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

$$f_b = P l / b \cdot d^2$$

割裂試験はJIS A 1113「コンクリートの引張強度試験方法」,

P:最大荷重(N)

d:供試体の直径(mm)

l:供試体の長さ(mm)

曲げ試験はJIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」

P:最大荷重(N)

b, d:供試体の断面幅、高さ (mm)

l:下部支点間距離 (mm)

割裂強度 = 間接引張り強度 $f_t: 2.6 \text{ N/mm}^2$ が曲げ強度 $f_b: 4.4 \text{ N/mm}^2$ に相当することが「舗装設計施工指針 平成18年版」:(社)日本道路協会 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」

曲げ強度と割裂引張強度，圧縮強度との関係

曲げ強度 f_b MPa		換算式	3.5	4.0	4.4	4.8	5.0	5.3
割裂引張 強度 f_t MPa	12.5	$f_t = (f_b / 2.21)$ 1.40	1.9	2.3	2.6	3.0	3.1	3.4
圧縮強度 f_c MPa		$f_c = (f_b / 0.42)$ 1.5	2.4	2.9	3.4	3.9	4.1	4.5
JIS A5308にお ける呼び強度		—	2.4	3.0	3.6	4.0	-	-

強度換算式は旧建設省土木研究所 及び（社）セメント協会の研究成果に
もとづくものである。

引用 （社）日本道路協会 舗装設計施工指針 平成18年版

その2.

スランプが2.5cm もの硬練りが必要な、理由は？

CO舗装の性能として、強度(耐荷力)、耐久性確保以外に、

表面の耐摩耗性能

滑り抵抗性能

耐ひび割れ、耐角欠け(特に目地部)性能

所定の道路勾配の確保 (施工時のダレ防止)

平坦性の確保

などの要求に応えるため、セメント量、単位水量
ともにできるだけ少ない硬練りのコンクリートが望ましいため

舗装は版全体の中で、**表面の性能が特に重要**である



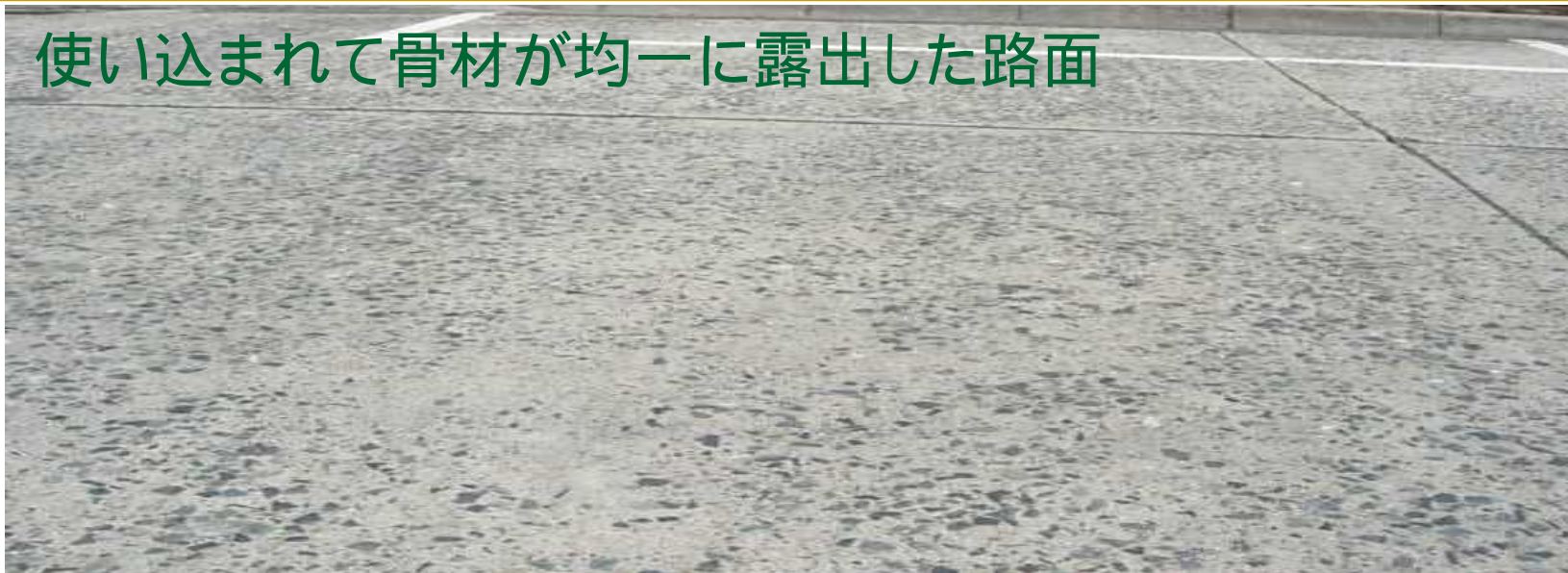
写真左上：完成直後のトンネル内舗装

写真右下：30年以上経過した路面



npo NICE net

使い込まれて骨材が均一に露出した路面



短期間で表面が摩耗している路面

期待する性能 = 安全・快適

スランプが大きいコンクリートは

道路では

路面が摩耗しやすい

滑りやすくなる

粉塵発生が多くなる

平坦かつ、所定の勾配に仕上げにくい

飛行場では

目地が角欠けしやすい

エンジントラブル

事故

スランプ $2.5 (\pm 1) \text{ cm}$ は正直なところ施工しにくい
= 締め固めにくい、仕上げにくい

- 施工しにくいコンクリートを入念に施工することで、
高強度、高品質、高耐久性、高性能を得るという考え方
- 高速道路ではスランプ $1.5 (\pm 1.0) \text{ cm}$ を標準としている
- 人力施工や、ダンプ運搬が出来ない条件下では
 $6.5 (\pm 1.5) \text{ cm}$
- スリップフォーム工法(後で説明)では $3.5 (\pm 1.5) \text{ cm}$
空気量 $5.5 \pm 1.5\%$
- 諸外国でもスランプは $1.5 \text{ cm} \sim 5 \text{ cm}$ が一般的

注意 そのためにスランプだけでなく

- セメント量をできるだけ少なく (320 kg / m³以下が理想)
- 水セメント比を50%以下 (45%以下が理想)

- 粗骨材の最大粒径は40mm (25, 20mm)
- 摩耗しにくい粗骨材 (すり減り減量35%以下)
- 滑りにくい粗骨材を使用 (石灰岩は滑りやすい石質が多い)

- 細骨材率は施工が可能な範囲でできるだけ少なく (40%以下)
- 滑らかな粒度分布 (細骨材のFMは2.8程度)
同じFMでも粒度分布が異なることに注意

- エアーは入りにくいが、4.5% ± 1.5%

これらは人力施工、交通量が少ない区間、性能として期待されない区間を除いて、できるだけ目標にすることが望ましい

配合例

単位量 (Kg/m ³)						
W みず	C せめんと	S _(5~0) すな	G _(40~05) いし	Ad おくすり	W/C (%)	単位粗骨材容積 (細骨材率: s/a)
135	322	678	1268	0.966	42	0.76 (35.8%)
備考：材令28日の設計基準曲げ強度 (JIS 呼び強度 4.5) 4.4 MPa						
配合強度 5.2 (N/mm ²)						
スランプ 現場 2.5 (±1) cm (プラント 4.0)						
セメントの種類 N						
混和剤の種類 AE減水剤 種 施工時期 2009年1月						
粗骨材の最大粒径 40 mm 運搬時間 20分						
細骨材のFM 2.67						
空気量の目標値 4.5 (±1.5)% 粗骨材の岩種 硬質砂岩						

舗装コンクリート：(社)日本道路協会 独自の概念 (JISとの微妙な違い)

- 本来はスランプでなく「**沈下度**」でコンシステンシーを規定

沈下度:約30秒 (20~40秒)

沈下度試験は「振動台式コンシステンシー試験 (土木学会試験基準 JSCE-1974) 装置
硬練りコンクリートにはスランプ測定誤差が大きい ワークビリティは締め固め仕事量を表すという理由

- 「**単位粗骨材容積**」を細骨材率に代えて使用

単位粗骨材容積 = $\frac{C_o}{1}$ m³に用いる粗骨材の質量

粗骨材の単位体積質量 (JISA1104に示す方法で求めた)

細骨材率と違って、単位水量、単位セメント量、空気量が変化しても、単位粗骨材容積は一定なので、
計算が容易

- 設計基準曲げ強度 (呼び強度) **4.4 MPa** (= N/mm²)

$$(45 \times 0.98 = 4.41)$$

高速道路 (NEXCO) と港湾・空港 (国交省、防衛省等) は、別に独自の基準あり

その3

ダンプトラックで生コンを運搬するわけ？

これが生コン業界が困る事情のひとつ

スランプ2.5cmのコンクリートはアジテータ車では荷下ろしできない
(スランプ2.5cmのコンクリートに限ってダンプで運搬)

でも、他にもわけあり

機械施工のコンクリート舗装は施工速度が速いので、荷下ろしが早いダンプの方が施工効率で有利

硬練りなので材料分離しにくい

しかし材料分離は避けられないので、積み込み時に注意を要する
運搬時間、距離も考慮(できれば30分以内) シート掛けは必須

例外として

ダンプアップ出来ない建屋内、狭いトンネル内など、また
スリップフォーム工法ではアジテータ車で運搬する

その4 . 材令を短くしないのはなぜ？

(設計基準強度を満たす材令を、例えば7日で配合設計し、早く交通解放しないのはなぜ？)

これまでの普通ポルトランドセメントを使用した配合及び施工実績でも、養生日数 7日で、交通解放ができる設計基準曲げ強度の80% (3.6 MPa)は得られることが多い。

一方、表面の摩耗が早いことが懸念され、またセメント量が増えることを防ぐことから、28日の材令(実際の現場の最短養生期間は7日～14日)で行われてきた。

部分補修など、早期の交通解放が必要な場所では早強セメントが用いられ、材令を7日とする場合もあったが、例外である。

今後は、場所毎に材令を使い分けることも必要である。

欧米では、補修工事には1～2日の養生で交通解放できる通称「ワンディコンクリート」(早強セメント)が使用されている。

コンクリート舗装(道路)に関する構造、施工の予備知識

コンクリート舗装の施工厚さ・施工幅、端部補強

車道の施工厚さ(版厚)は設計交通量に応じて設定

25cm, 28cm, 30cm

施工幅は車線幅(3.5m ~ 4m)に合わせて決定

2車線(8mまで)を同時に施工することも多い

径6mmの異形棒鋼のメッシュ(鉄網: 3kg/m²)を表面から1/3の位置に設置

端部に径13mmの異形棒鋼補強筋を縦方向に3本鉄網に設置

鉄網は、補強筋ではなく、ひび割れが開きにくくするために設置する
これらの作業のため、コンクリートを上下2層に分けて敷均しを行う

目地の配置

横断方向に8～10m間隔で収縮(伸縮)目地(ダウエルバー:径25×700mm)の丸鋼を目地幅6～10mm)に設置

(注1) ダウエルバーは以前スリップバーと称していた

(注2) バーはそれぞれ台座(:チェアーと称する)に取り付けて設置する

膨張(伸縮)目地:径28または32mm×700mmの丸鋼を、1日の施工継目等に目地幅25mmで設置(目地間隔は一定ではない)

縦目地(そり目地):タイバー 径28mm×700mmの異形棒鋼を、車線の継ぎ手(そりによる段差を防ぐため)として1m間隔に設置

目地の種類

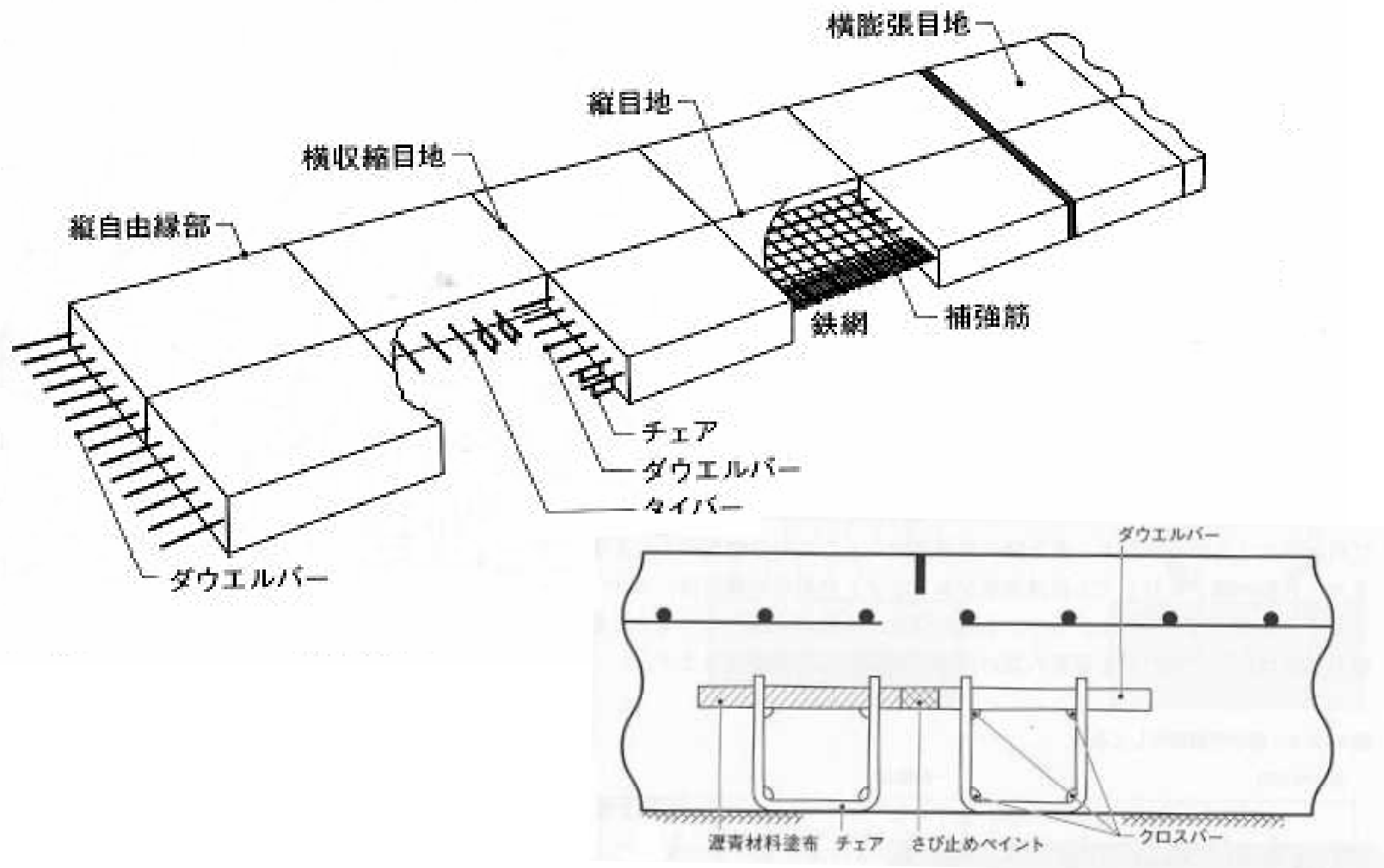
目地は、体積変化(形状変化):収縮と膨張(両方併せて伸縮という)の他、表面と底面の伸縮の不揃いによるそりという現象に対抗する、位置と構造上から必要。

つまり収縮、膨張、そりに対処する目地である。

- 働き (収縮目地、膨張目地、伸縮目地、そり目地)
- 設置場所 (横目地、縦目地)
- 構造 (突き合わせ目地、ダミー目地)
- 施工方法 (施工継目、打ち込み目地、カット目地)

でも分類される。

普通コンクリート版の構造





npo NICE net



npo NICE net

施工の技術開発等の課題

スリップフォーム工法がこれからの大規模施工の主流になる
コンクリートの配合・品質・供給との連携がますます重要

しかし小規模の施工(例:延長500m程度のトンネル内、小規模の港湾のエプロン、空港のエプロン部分打ち替え等)では従来のセットフォーム工法も併存
(機械のメンテナンスの問題あり)

連続鉄筋コンクリート舗装の施工方法の改善 (鉄筋の配置・施工)

新設施工区間をいかに増加するか (設計・施工・維持管理の問題)

既設舗装版の打ち替え
短縮)

急速施工工法(解体、打設、養生、時間
プレキャストPC, RC舗装版)

舗装コンクリートの混合・運搬 = 供給の問題

施工能力の向上とともに、供給量のマッチングが重要

プラントの製造能力 施工規模に応じた対応

他の種類の生コンの出荷による品質変動の問題

ミキサの形式、ホッパー

ダンプトラックでの運搬とアジテータでの運搬が当分併用される

ダンプトラック積み込み時の材料分離の問題

アジテータ排出能力の問題

施工法の違い

セットフォーム工法

設計版厚の型枠を施工幅に固定し、ガイドとする型枠の上端にレールを敷設してそれぞれの機械装置(敷均し、締め固め、平坦仕上げ等)を移動、操作して版厚、計画高、施工幅、平坦性を得る。

トンネル内では両端の縁石、側溝などをガイドにし、全幅で施工する方法では型枠を使用しない。

従来工法として技術的に
確立



連続鉄筋コンクリート舗装



スリップフォーム工法

型枠を使用せず、グレードコントローラ等で管理して敷均し、締め固め、平坦仕上げを1台で行うクローラ駆動で移動する施工機械を使用して施工する。

配合・材料、施工法は欧米では確立、日本ではまだ試行錯誤

生産性(施工速度、施工コスト)で優れる

表層として4～5cmのアスファルト系舗装とのコンポジット舗装も選択肢



長寿命・多機能で、経済的なコンクリート舗装を増やそう！ 設計・施工の課題

- 長寿命 高強度化 RC, PC プレキャスト化
路床改良 高強度路盤 目地構造・材料
- 多機能化 排水性、低騒音 (ポーラスコンクリート、小粒径骨材)
温度上昇抑制
構造・材料の複合化 (コンポジット舗装)
- 経済性 再生骨材・副産物の利用 (FA等)
- 生産性 スリップフォームペーバ
転圧コンクリート (RCCP)
目地構造・材料の設計・施工の改善
鉄網、補強筋の見直し
- 維持・補修・更新 目地補修 空洞充填 解体工法

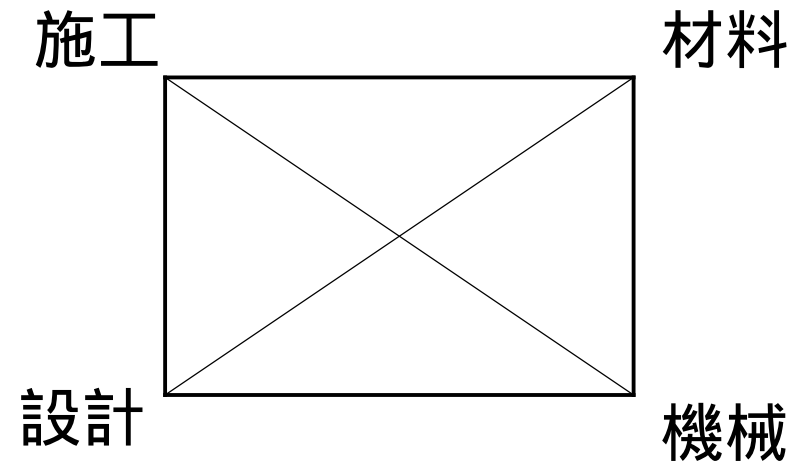
今、思うこと

絶滅危惧種になってしまったコンクリート舗装（に限らず）

～これまでの経験と、最近自治体の工事監査で技術調査に関わった感想～

よい施工には、施工管理者に設計、材料・機械等の知識が十分備わっていて、それぞれの分野を担当する技術者の経験・知識が、マネジメント・連携されていることが重要。

現在は分業化、マニュアル化が進みすぎて、設計・施工・材料・機械等の分野でお互いに重なり合う知識・情報交換がなく、問題解決が円滑に出来ていない状態になっている。



それぞれの専門分野の技術者が、幅広い知識をもって交流・連携することで、問題を事前に発見し協力することによって解決を図ることが重要。

おわりに

- 石油資源の枯渇とともに、すべて輸入資源でエネルギーを多く消費する、アスファルト舗装の先行きは明るくない
- セメントは、数少ない国産の資源であり、舗装としての耐久性はアスファルト系に比べてはるかに長い
- 作っては壊す、あるいは頻繁に補修する時代から、メンテナンスが少なく長持ちする(つまり経済的な)ものを作る時代へ
- セメント材料生産の拠点地方でもある山口県には、もっとコンクリート舗装が採用されていてもいいのでは？
それぞれの長所をもっと生かす工夫

ご静聴、ありがとうございました。

本件に関するお問い合わせは、

小西 徹 e-mail: tk-pe.civil@hyu.bbiq.jp

コンクリート舗装技術についてもう少し詳しい解説を知りたい方は、下記の npo NICE net のHP をご覧下さい。

「NPO法人 西日本建設技術ネット (npo NICE net)」
<http://www.gijutu.com/>

熟達技術者シリーズ

コンクリート舗装技術 (1) ~ (3)

(3回に分けて、市販の本に書いていないことも掲載しています)