

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of
National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1265

January 2024

空港の無筋コンクリート舗装工事に用いる コンクリートの配合に関する調査

河村直哉・坪川将丈

Investigation of Concrete Mixes for Non-reinforced Concrete Pavement
in Airports

KAWAMURA Naoya, TSUBOKAWA Yukitomo

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

空港の無筋コンクリート舗装工事に用いるコンクリートの配合に関する調査

河村直哉*・坪川将丈**

要 旨

著者らは、空港の無筋コンクリートの配合に関する参考資料を作成することを目的として、全国の空港の無筋コンクリート舗装工事で使用されたコンクリートの配合に関する調査を実施した。本調査により得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) コンクリートは全てレディーミクストコンクリートであり、粗骨材のほぼ全てが最大粒径40mmの碎石、混和材料は全てAE減水剤であった。セメントは、普通ポルトランドセメントが最も多く、高炉セメントB種や中庸熱ポルトランドセメントが用いられる場合もあった。
- (2) レディーミクストコンクリートの配合は、プラントの出荷実績に基づき設定されることがほとんどであり、試験練りにより配合が検討された工事は少なかった。
- (3) 呼び曲げ強度に対する割増し係数の平均値は約1.2であり、その場合の配合曲げ強度は6.0N/mm²である。
- (4) コンクリートの各材料の単位量には幅があったが、スランプ2.5cmのコンクリートの場合、水セメント比は約40%、単位水量は約140kg/m³、単位セメント量は約360kg/m³であった。

キーワード： 空港、無筋コンクリート舗装、コンクリートの配合、単位量、スランプ、空気量、曲げ強度

*空港研究部主任研究官

**空港研究部空港施設研究室長

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 国土交通省国土技術政策総合研究所

電話：046-844-5019 Fax：046-842-9265 e-mail：ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

Investigation of Concrete Mixes for Non-reinforced Concrete Pavement in Airports

KAWAMURA Naoya*

TSUBOKAWA Yukitomo**

Synopsis

The authors investigate non-reinforced concrete mixes applied to airport pavement construction all over Japan in order to prepare a reference document on non-reinforced concrete mixes for airports. The results are shown as below.

- 1) All concretes are ready-mixed concrete. Almost all coarse aggregates are crushed stone whose maximum size is 40mm, and all admixtures are AE water reducer. Most cements are ordinary Portland cement, and some are blast furnace cement and moderate heat Portland cement.
- 2) Most mix proportions of ready-mixed concrete are decided based on the shipping result of each concrete plant. Trial mixing is rarely conducted when examining of concrete mixes.
- 3) Increasing factor for nominal strength is about 1.2. Bending strength for proportioning, which is calculated by the factor, is around 6.0N/mm^2 .
- 4) For concrete whose slump is 2.5cm, water cement ratio is around 40%, water content per unit volume of concrete is around 140kg/m^3 and cement content per unit volume of concrete is around 360kg/m^3 .

Key Words: airport, non-reinforced concrete pavement, concrete mixes, quantity of material per unit volume of concrete, slump, air content, bending strength

* Senior Researcher of Airport Department

** Head of Airport Facilities Division, Airport Department
National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5019 Fax : +81-46-842-9265 e-mail : ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

目 次

1. はじめに	1
2. 調査方法	1
2.1 調査対象	1
2.2 調査に用いた資料	1
2.3 調査対象とするコンクリート	1
3. コンクリートの材料に関する調査結果	2
3.1 骨材	2
3.2 セメント	2
3.3 混和材料	2
4. コンクリートの配合に関する調査結果	3
4.1 配合設計の手順	3
4.2 プラントの出荷実績に基づく配合の設定手順	3
4.3 配合曲げ強度に関する係数（割増し係数と変動係数）	4
4.4 曲げ強度とセメント水比の関係式	5
4.5 水セメント比，単位水量，単位セメント量	6
4.6 単位粗骨材かさ容積	7
4.7 単位混和剤量	8
5. スランプ，空気量，曲げ強度に関する調査結果	8
5.1 スランプ	8
5.2 空気量	9
5.3 曲げ強度	9
6. まとめ	10
参考文献	11
付録	12

1. はじめに

空港におけるコンクリート舗装は、航空機が駐機するエプロン、大型ジェット機の交通量が多い空港の滑走路端部や誘導路などに用いられる。コンクリート舗装の最上部にあるコンクリート版には、無筋コンクリート、鉄筋コンクリート及びプレストレストコンクリートが用いられ、日々の復旧を必要とするなど、施工時の制約条件が厳しい場合を除けば、コスト面で有利な無筋コンクリートが採用されることが多い。

近年、空港の無筋コンクリート舗装において、コンクリートの配合が一因であると考えられる収縮ひび割れが施工直後に発生した事例がある。コンクリートの配合設計では、配合条件として定めたスランプ、空気量及び曲げ強度に基づき、コンクリートの材料の配合量が決定されるものの、セメントや水の量によっては、施工後にコンクリートの収縮量が多くなり、ひび割れの発生に繋がる。すなわち、ひび割れの発生を防ぐという観点でも、コンクリートの材料の配合量に留意することが重要である。舗装設計施工指針¹⁾とコンクリート舗装ガイドブック2016²⁾では、道路舗装に用いる無筋コンクリートに関する配合の目安や実績が示されているが、設計曲げ強度が道路とは異なる空港の無筋コンクリートに関しては、配合の目安や実績が示された資料はほとんどない。コンクリートの配合は技術者の経験によるところがあるため、技術者の担い手不足や熟練技術者の高齢化などにより技術継承に関する課題が益々深刻化することが想定される中では、配合の目安や実績を示す資料は、配合設計において今後さらに重要なものとなる。

以上のことから、著者らは、空港の無筋コンクリートの配合に関する参考資料を作成することを目的として、全国の空港の無筋コンクリート舗装工事で使用されたコンクリートの配合に関する調査を実施した。

2. 調査方法

調査は、地方整備局及び空港会社が発注した空港舗装工事において施工者から提出された各種資料を収集し整理することにより行った。

2.1 調査対象

本調査の対象は、空港の滑走路、誘導路及びエプロンなどの基本施設において実施された無筋コンクリート舗装工事とし、北海道から沖縄までの全国の空港において

過去5年程度で実施された工事とした。

表-1に、調査の対象とした工事の件数を地域ごとに示す。各地域に存在する空港の数や、コンクリート舗装の整備のタイミングの関係から、工事件数には地域による多少がある。また、表に挙げている工事件数は、調査対象期間に実施された全てのものというわけではなく、件数が多い地域に関しては、複数年かけて実施した工事のうち最新の工事のみを調査対象とするなどして、情報提供元の協力負担に配慮し件数を調整している。

表-1 調査対象の空港と工事件数

調査空港		工事件数
北海道	新千歳空港	3
北陸	小松空港	1
関東	東京国際空港、成田国際空港	4
近畿	関西国際空港	2
中国	広島空港、美保飛行場	4
四国	松山空港	4
九州	北九州空港、福岡空港、長崎空港、熊本空港、宮崎空港	6
沖縄	那覇空港	1
計	14空港	25

2.2 調査に用いた資料

本調査では、配合設計時の配合計画書や試験練り計画書などの配合に関する資料と、施工時の品質管理に関する資料を収集した。なお、工事によっては、複数のコンクリート工場（以下、プラント）からコンクリートを受け入れていたため、配合設計に関する資料は、各プラントから提出されたものを収集した。

収集した資料をもとに、コンクリートの材料、配合及び配合の根拠となる配合計算の過程を整理した。また、試験練りが実施されている場合には、その結果で得られたスランプ、空気量及び曲げ強度を整理した。

舗装を施工する前に実施される上記の配合設計の結果とは別に、コンクリートの打ち込み現場で確認されたスランプと空気量を整理した。また、打ち込み現場で作製されたコンクリートの曲げ供試体の曲げ強度（以下、施工中の曲げ強度）も整理した。

2.3 調査対象とするコンクリート

本調査で確認されたコンクリートは、いずれもレディーミクストコンクリートであり、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）における呼び曲げ強度やスランプなどによる区分によれば、表-2に示す7種類に分類され

る。表中のコンクリートの種類は、本調査における呼称であり、数値は左から、呼び曲げ強度、スランプ、粗骨材の最大寸法である。末尾の英字はセメントの種類である。この呼称は、施工者から提出された資料において多く用いられていたものである。

スランプ2.5cmのコンクリートはセットフォーム工法による機械施工、スランプ5.0cmのコンクリートはスリップフォーム工法による機械施工、スランプ6.5cmのコンクリートは人力施工に用いられたものである。なお、セットフォーム工法は、路盤上にあらかじめ設置した型枠内にコンクリートを舗設する方法であり、スリップフォーム工法は、型枠を設置しないで舗設する方法である。

1件の工事において空港周辺の複数のプラントからコンクリートを受け入れる場合があったため、表-2には、各種コンクリートを用いたプラントの数を示す。1つの工事で、機械施工と人力施工のためにスランプが異なる2種類のコンクリートを使用する場合もあった。上記より、プラント数の総和は、表-1に示した工事件数よりも多くなっている。

表-2 調査対象とするコンクリート

	コンクリートの種類	プラント数
1	曲げ5.0-2.5-40N	15
2	曲げ5.0-5.0-40N	1
3	曲げ5.0-6.5-40N	14
4	曲げ4.9-2.5-40M	1
5	曲げ4.9-6.5-40M	1
6	曲げ5.0-2.5-40BB	18
7	曲げ5.0-6.5-40BB	17

N: 普通ポルトランドセメント

M: 中庸熱ポルトランドセメント

BB: 高炉セメントB種

3. コンクリートの材料に関する調査結果

コンクリートの材料は、骨材（粗骨材と細骨材）、水、セメント及び混和材料である。本章では、各工事で使用された骨材、セメント及び混和材料について整理した結果を示す。

3.1 骨材

粗骨材には一般に、砕石もしくは砂利が用いられる¹⁾。本調査では、1件の工事で砂利が用いられていたが、それ以外では砕石が用いられており、全国的に砕石が用いら

れる傾向であった。また、粗骨材の最大寸法は40mmのものが用いられており、道路で用いられる20mmや25mmのケースは空港では確認されなかった。

細骨材には、砕砂と砂が用いられていた。同じ空港で実施された2件の工事においては、砕砂と砂にスラグ骨材を混合していた。

骨材の岩種については、収集した資料に記載されていない場合があり、全ての工事で使用された岩種を把握できなかったが、安山岩、花崗岩及び石灰岩など様々な岩種の骨材が用いられており、特定の岩種が多く使用されているという傾向は確認されなかった。

3.2 セメント

表-3に、本調査で確認されたセメントの種類を示す。普通ポルトランドセメント、中庸熱ポルトランドセメント及び高炉セメントB種の3種類であった。多くの工事では、普通ポルトランドセメントが用いられていた。8件の工事で高炉セメントB種が用いられ、いずれも西日本の空港で実施された工事で用いられていた。増田ら³⁾は、西日本において高炉セメントの使用比率が高いことを示しており、その理由として、製鉄所が偏在しており、スラグの輸送費が安いこと、高炉セメントを安価で調達しやすいことなどを挙げている。

表-3 調査で確認されたセメント

セメントの種類	工事件数
普通ポルトランドセメント	16
中庸熱ポルトランドセメント	1
高炉セメントB種	8

3.3 混和材料

全ての工事において、混和剤に分類されるAE減水剤が使用されており、フライアッシュや膨脹材などの混和材を使用した事例は確認されなかった。

AE減水剤には、コンクリートの凝結と初期硬化速度の調節機能に関する区分として標準形、遅延形、促進形があり、AE減水剤に含まれる塩化物量による区分としてⅠ種、Ⅱ種、Ⅲ種がある。工事における標準的な配合の場合には標準形Ⅰ種が用いられ、その配合を夏季用に修正する場合に、遅延形Ⅰ種が用いられていた。これは、夏場の凝結・硬化速度を遅らせて施工性の低下を防止するためであると考えられる。

AE減水剤のメーカーは5社確認されたが、特定のメーカーのものが使用されている傾向は確認されなかった。

4. コンクリートの配合に関する調査結果

本章ではまず、収集した資料で確認された配合設計の手順について記載し、その次に、配合設計の過程で用いられた配合曲げ強度に関する係数と式や、配合設計の結果として得られた各材料の単位量の傾向を示す。

4.1 配合設計の手順

コンクリートの配合設計とは、「選定された材料を用いて、所定の強度、作業に適するワーカビリティおよび耐久性を有するコンクリートが、できる限り少ない単位水量で得られるよう、各材料の単位量を定めること」²⁾である。単位量とは、コンクリート1m³あたりの材料（骨材、水、セメント、混和材料）の質量である。

図-1に、本調査対象とした工事で確認された配合設計の手順を示す。手順は2パターンであり、1つは、参考書などで記載されている一般的なものであり、机上及び試験練りで配合を検討し設定するケースである。もう1つは、プラントの出荷実績で配合を設定するケースである。

今回調査した25件の工事のうち23件では、プラントの出荷実績により配合を設定しており、机上及び試験練りにより配合を検討するケースは2件と少なかった。プラントの出荷実績で配合を設定した場合における試験練りは、室内でのみ実施されており、実機による試験練りを行った事例は確認されなかった。空港土木工事共通仕様

書⁴⁾では、レディーミクストコンクリートを使用する場合、「受注者は、JIS標準品以外の場合、試験練りを行い、その試験結果を監督職員に提出しなければならない」と記載されている。空港の無筋コンクリート舗装に用いられるコンクリートは、基本的には呼び曲げ強度が5.0N/mm²であるが、JIS A 5308では5.0N/mm²の区分がないため、JIS標準品以外となる。これを受けて試験練りが実施されているものと思われる。

4.2 プラントの出荷実績に基づく配合の設定手順

今回の調査で多く確認された、プラントの出荷実績に基づく配合の設定の手順について詳述する。設定の手順は、配合計画書に添付されていた図-2に示す配合計算書に基づくものである。

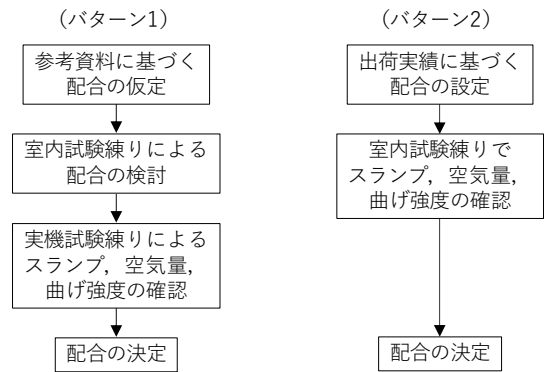


図-1 調査で確認された配合設計の手順

配合計算書					
配合の設計条件					
呼び方	コンクリートの種類による記号	呼び強度	スランプ又はスランプフロー cm	粗骨材の最大寸法 mm	セメントの種類による記号
	舗装	曲げ5.0	2.5	40	B B
指定事項 W/C ≤ 50%					
手順1) 配合曲げ強度の計算	(1) 変動係数(v)	当工場の実績により v = 8.0 %			
	(2) 配合強度(m)	$\alpha_1 = \frac{0.85}{1 - \frac{3.0 \cdot v}{100}} = 1.12 \quad \alpha_2 = \frac{1}{1 - \frac{3.0 \cdot v}{100 \cdot 3}} = 1.16$ $m = \alpha_2 \times S_t = 1.16 \times 5.0 = 5.80 \text{ N/mm}^2$			
手順2) 水セメント比の計算	(3) 水セメント比(W/C)	$W/C = \frac{m}{-1.07 + 2.75 \times C/W} = 40 \% \leq [50\% \text{ (上限値)}]$ $\therefore W/C = 40 \%$			
手順3) 単位セメント量の計算	(4) 単位水量(W)	当工場の実績により W = 141 kg/m ³			
	(5) 単位セメント量(C)	$C = W \div (W/C) \times 100 = 141 \div 40 \times 100 = 353 \text{ kg/m}^3$ $C_v = C \div \text{密度} = 353 \div 3.04 = 116 \text{ L/m}^3$			
手順4) 単位骨材量の計算	(6) 空気量(A)	A = 4.5 % × 1000 = 45 L/m ³			
	(7) 単位粗骨材量(G)	当工場の実績により かさ容積 = 0.738 m ³ /m ³ 実積率 = 60.0 % $G_v = 0.738 \times 1000 \times 60.0 \div 100 = 443 \text{ L/m}^3$ $G_1 = G_v \times \text{表乾密度} = 266 \times 2.86 = 761 \text{ kg/m}^3$ $G_2 = G_v \times \text{表乾密度} = 177 \times 2.86 = 506 \text{ kg/m}^3$			
	(8) 単位細骨材量(S)	$S_v = 1000 - (W + C_v + G_v + A) = 1000 - 745 = 255 \text{ L/m}^3$ $S_1 = S_v \times \text{表乾密度} = 178 \times 2.58 = 459 \text{ kg/m}^3$ $S_2 = S_v \times \text{表乾密度} = 77 \times 2.58 = 199 \text{ kg/m}^3$			
	(9) 細骨材率(s/a)	s/a = S_v ÷ (G_v + S_v) × 100 = 36.5 %			
手順5) 単位混和剤量の計算	(10) 単位混和剤量(Ad)	Ad = C × 添加率 = 353 × 1.0000 % = 3.53 kg/m ³			

図-2 曲げ 5.0-2.5-40BB の配合計算書の例（一部加筆）

- 手順1) 曲げ強度の変動係数に関するプラントの実績値にもとづき、呼び曲げ強度に対する割増し係数 α を算出し、配合曲げ強度を求める。
- 手順2) プラントが保有する、曲げ強度とセメント水比との関係式に、配合曲げ強度を代入し、水セメント比を求める。
- 手順3) 単位水量に関するプラントの実績値と水セメント比に基づき、単位セメント量を求める。
- 手順4) 単位粗骨材かさ容積（コンクリート1m³に用いる粗骨材のかさ容積）と粗骨材の実積率（かさ容積に対する絶対容積の比率）に関するプラントの実績値に基づき、単位粗骨材量を求める。ここまでの手順で、単位水量、単位セメント量及び単位粗骨材量が得られるため、空気量を踏まえて、コンクリート1m³に占める残りの体積を細骨材とし、その体積から細骨材の単位細骨材量を求める。なお、骨材の単位量の算定に関しては、細骨材率の実績値に基づく場合もあった。
- 手順5) 単位混和剤量は、単位セメント量に対して一定の割合として求める。

上記手順で設定した配合で試験練りを行い、スランプ、空気量及び曲げ強度が空港土木工事共通仕様書で定められた品質を満足することを確認し、配合を決定する。

以降の4-3から4-7では、配合曲げ強度に関する係数と式や、各材料の単位量の傾向について、4種類のコンクリート（曲げ5.0-2.5-40N、曲げ5.0-6.5-40N、曲げ5.0-2.5-40BB、曲げ5.0-6.5-40BB）に着目して整理する。その他3種類のコンクリート（曲げ5.0-5.0-40N、曲げ4.9-2.5-40M、曲げ4.9-6.5-40M）に関しては、工事が1件ずつであったため、傾向を整理することはせず、各種の値を付録に掲載した。

4.3 配合曲げ強度に関する係数（割増し係数と変動係数）

レディーミクストコンクリートの配合設計における曲げ強度には、呼び曲げ強度と配合曲げ強度がある。配合曲げ強度は、コンクリートの製造及び施工時の強度のばらつきを考慮するための割増し係数を、呼び曲げ強度に対して乗じたものである。割増し係数はプラントによって異なる値が設定される。図-3に、プラントごとに確認された割増し係数の頻度分布を示す。なお、スランプの違いで割増し係数を変える例はなかったため、スランプごとの整理はしていない。

割増し係数は、セメントの種類によらず1.15～1.20が最も多かった。普通ポルトランドセメントを用いた場合の割増し係数の平均値は1.20、高炉セメントB種を用いた

場合の割増し係数の平均値は1.19であった。道路で用いられる無筋コンクリートの割増し係数は、近年では1.269が多いという指摘⁵⁾があるが、空港で用いられている割増し係数はそこまで大きくなかった。

なお、割増し係数は、JIS A 5308に規定される下記の2つの条件を満足するように計算されていた。

a) 1回の試験結果は、購入者が指定した呼び強度の強度値の85%以上でなければならない。

b) 3回の試験結果の平均値は、購入者が指定した呼び強度の強度値以上でなければならない。

上記の条件に基づくと、a)に関する割増し係数は式(1)で表され、b)に関する割増し係数は式(2)で表され、この2つの式で計算された値の大きい方が採用されていた。

$$\alpha = \frac{0.85}{1 - \frac{t \cdot v}{100}} \quad \dots \text{式(1)}$$

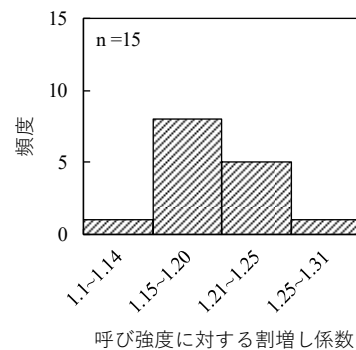
$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{t \cdot v}{\sqrt{3} \cdot 100}} \quad \dots \text{式(2)}$$

ここに、 α ：割増し係数

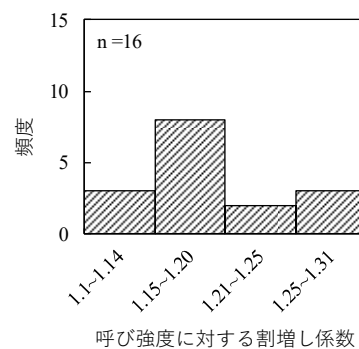
t ：標準正規分布に従う確率密度関数における

下側非超過確率に関する係数

v ：曲げ強度の変動係数（%）



a) 普通ポルトランドセメントを用いた場合



b) 高炉セメントB種を用いた場合

図-3 割増し係数の頻度分布

図-4に変動係数の頻度分布を示す。変動係数の多くは10%以下であり、平均値は約8%であった。

また、係数 t も割増し係数に影響を及ぼす。 t は、施工中の曲げ強度が呼び曲げ強度以下となる確率 p を算定する際に用いられる係数であり、JISでは、確率 p は示されていない。本調査では、確率 $p=0.13\%$ に相当する $t=3$ が多くのプラントで設定されていたが、3より大きく設定することで、施工中の強度が呼び強度以下となる確率をより小さく見込むプラントもあった。

4.4 曲げ強度とセメント水比の関係式

水セメント比は、曲げ強度とセメント水比の間に式(3)に示す線形関係が成立することを前提に、配合曲げ強度を代入して求められる。この関係式における係数の値は、プラントごとに異なるものが用いられていた。

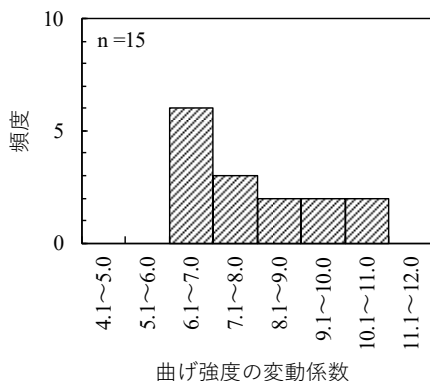
$$m = a + b \times \frac{C}{W} \quad \cdots \text{式(3)}$$

ここに、 m ：曲げ強度 (N/mm²)

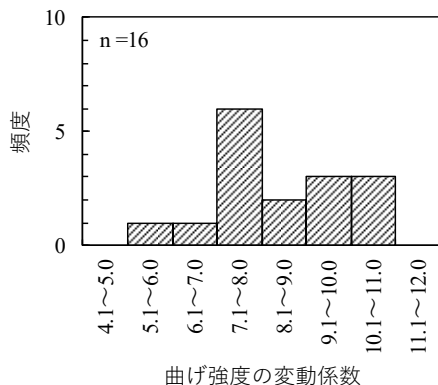
a, b ：定数

C ：単位セメント量 (kg/m³)

W ：単位水量 (kg/m³)



a) 普通ポルトランドセメントを用いた場合



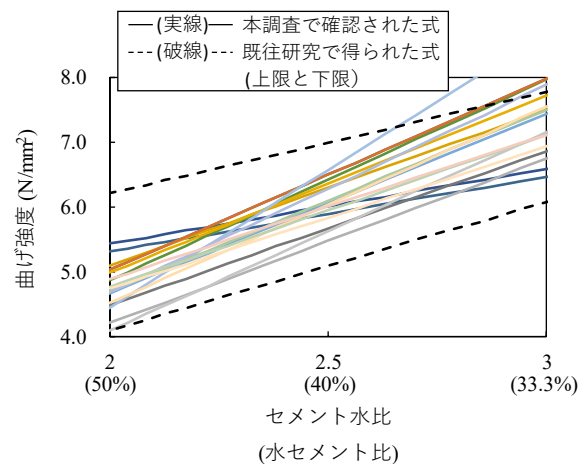
b) 高炉セメントB種を用いた場合

図-4 曲げ強度の変動係数の頻度分布

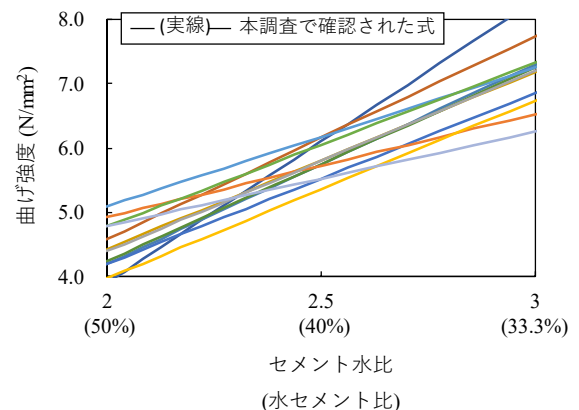
図-5に、本調査で確認された曲げ強度とセメント水比の関係を示す。普通ポルトランドセメントに関しては、既往の研究⁶⁾においてスランプ2.5cm、粗骨材の最大寸法40mmのコンクリートの曲げ強度とセメント水比（36～50%）の関係が検討されていたため、その検討で示された関係のうち、上限と下限を図に併せて示した。

本調査で確認された曲げ強度とセメント水比の関係には幅があり、例えば水セメント比を40%とした場合の曲げ強度は1.0N/mm²程度の違いがある。普通ポルトランドセメントを用いた場合に注目すると、産地が異なる骨材やセメントを用いた既往研究でも上限と下限で大きく異なるため、使用材料などに起因して関係式には幅が生じるものと考えられる。

図-6は、普通ポルトランドセメントを用いたある工事で使用された4つのプラントの曲げ強度とセメント水比の関係を示す。同じ工事では、材料はプラントによらずほぼ同じであり、プラントごとの関係式は近いものとなっている。



a) 普通ポルトランドセメントを用いた場合



b) 高炉セメントB種を用いた場合

図-5 曲げ強度とセメント水比の関係

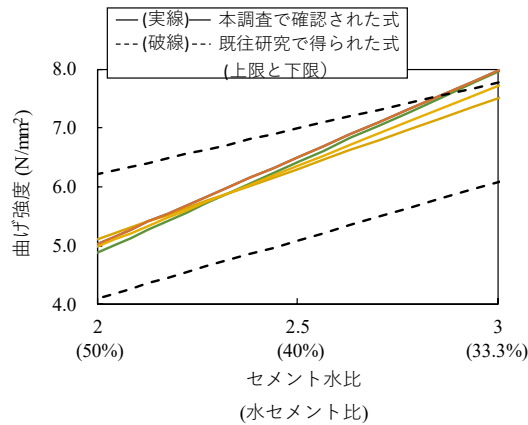


図-6 ある工事で使用された4つのプラントにおける曲げ強度とセメント水比の関係

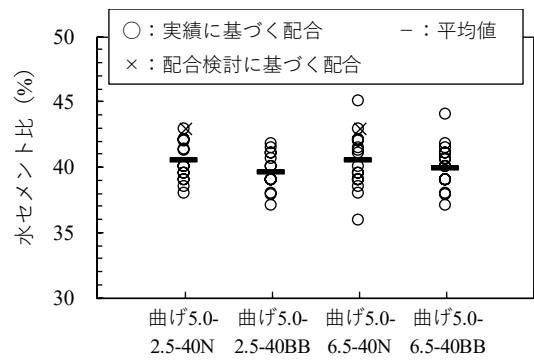
以上のことから、地域間で関係式に違いはあるものの、同じ材料が使われる空港周辺のプラントでは、同様の関係式となっていると考えられる。

4.5 水セメント比，単位水量，単位セメント量

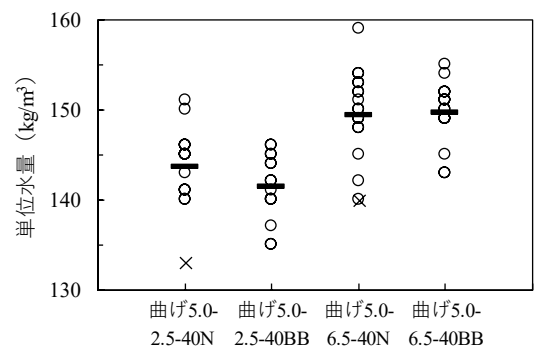
本調査においてプラントごとに確認された水セメント比，単位水量及び単位セメント量について，それらの範囲と平均値を表-4に示し，分布を図-7に示す。なお，後述のひび割れ事例（図-8）に用いられたコンクリートのデータは除外している。また，異なる工事において同じプラントが同じ配合のコンクリートを出荷している場合があったため，平均値は，いずれか一つの配合のみを考慮して計算している。

a) 水セメント比

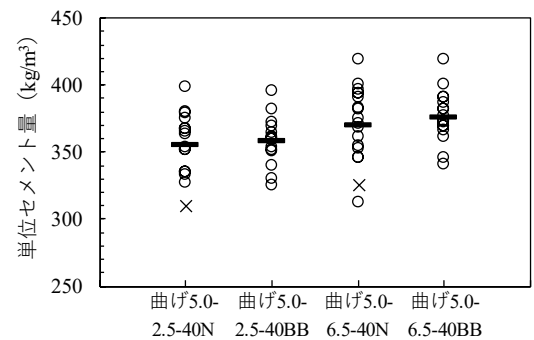
水セメント比の平均値は，セメントの種類，スランプによらず，約40%であった。同じプラントから，スランプ2.5cmと6.5cmの2種類のコンクリートが出荷された場合には，水セメント比は同じにしていた。



a) 水セメント比



b) 単位水量



c) 単位セメント量

図-7 水セメント比，単位水量，単位セメント量の分布

表-4 水セメント比，単位水量，単位セメント量の範囲と平均値

コンクリートの種類	水セメント比 (%)		単位水量 (kg/m³)		単位セメント量 (kg/m³)	
	範囲	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値
曲げ5.0-2.5-40N	38.0 ～ 43.0	40.5	133 ～ 151	144	310 ～ 398	356
曲げ5.0-2.5-40BB	37.0 ～ 41.8	39.6	135 ～ 146	141	325 ～ 395	358
曲げ5.0-6.5-40N	35.9 ～ 45.0	40.5	140 ～ 159	149	312 ～ 419	370
曲げ5.0-6.5-40BB	37.0 ～ 44.0	39.9	143 ～ 155	150	341 ～ 419	376

b) 単位水量

スランプ2.5cmの場合、単位水量の平均値は約140kg/m³であった。砕石を用いた道路用のコンクリート(曲げ4.5-2.5-40)の単位水量は、110~120kg/m³程度よりも10~20kg/m³多くなると言われており²⁾、これを120~140kg/m³程度と解釈すると、空港のコンクリートの単位水量の範囲は10kg/m³程度多い。単位水量の最大値は151kg/m³であったが、150kg/m³よりも多かったプラントは1件であり、ほとんどが150kg/m³以下であった。コンクリート舗装ガイドブック2016では、道路舗装のコンクリートを想定した記載ではあるが、「スランプ2.5cmのコンクリートの単位水量が150kg/m³以上となる場合には、骨材の粒度および形状が適当でないと考えてよい」とあり、空港舗装に用いるスランプ2.5cmのコンクリートの配合についても、この記載は参考になるとと思われる。

スランプ6.5cmの場合、単位水量の平均値は約150kg/m³であり、スランプ2.5cmの平均値よりも5~8kg/m³多かった。舗装設計施工指針¹⁾では、スランプ6.5cmの場合の単位水量は、スランプ2.5cmの場合より8kg/m³増やすことが記載されており、空港においても、スランプの調整が単位水量を増やすことにより行われていると考えられる。

c) 単位セメント量

スランプ2.5cmの場合、単位セメント量の平均値は約360 kg/m³であった。配合曲げ強度5.1N/mm²を想定した道路用のコンクリートの単位セメント量は、280~350kg/m³程度であると言われており²⁾、空港のコンクリートの単位セメント量の方が30~50kg/m³程度多い。前述の通り、空港の割増し係数の平均値は1.2であり、その場合の配合曲げ強度は6.0N/mm²であることから、空港の単位セメント量が道路より多い傾向にあるのは、配合曲げ強度が高いことによるものと考えられる。

スランプ6.5cmの場合、単位セメント量はスランプ2.5cmに対して多い傾向であった。前述の通り、スランプの調整は単位水量で行われ、水セメント比を2.5cmと6.5cmで同じとするために、単位水量を多くすることに合わせて単位セメント量を多くした結果と考えられる。

d) 施工後にひび割れが生じた舗装に用いられたコンクリートの配合

本調査の対象とした工事の中に、高炉セメントB種を用いたスランプ2.5cmのコンクリートで、水セメント比を36.0%、単位セメント量を403kg/m³とした事例があった。この事例では、コンクリートを打設してから数ヶ月後に、収縮に伴うひび割れがタイバーを用いた横方向目地近傍

にて発生した(図-8)。このコンクリートの水セメント比と単位セメント量を表-4に示した範囲と比較すると、それぞれ最小値と最大値であった。ひび割れは、コンクリート版の変形がタイバーで拘束されていることや環境条件など複数の要因が重なって発生したと思われるが、配合もひび割れの発生に寄与したと考えられる。高炉セメントを用いたコンクリートは自己収縮量が普通ポルトランドセメントより多いことから²⁾、高炉セメントを用いたコンクリートの配合設計では、収縮の観点において水セメント比とセメント量に留意する必要がある。

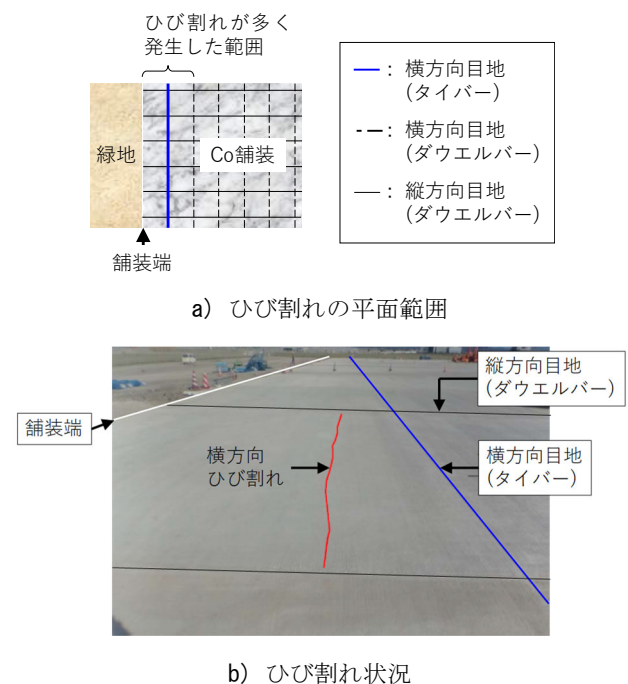


図-8 水セメント比36%、単位セメント量403kg/m³の曲げ5.0-2.5-40BBを用いた舗装におけるひび割れ事例

4.6 単位粗骨材かさ容積

本調査で確認された単位粗骨材かさ容積について、その範囲と平均値を表-5に示し、分布を図-9に示す。

スランプ2.5cmの場合、単位粗骨材かさ容積の平均値は、普通ポルトランドセメントで0.75、高炉セメントB種で0.72であった。舗装設計施工指針では、粗骨材の最大寸法が40mmで、スランプが2.5cmの場合の砕石コンクリートの単位粗骨材かさ容積の参考値として0.73が示されており、竹井⁵⁾は、その参考値に対して±0.03以内に入っていることを道路舗装のコンクリートの留意点として挙げている。図-9に示すように、本調査で確認された単位粗骨材かさ容積の多くは、上記の留意点の範囲にあった。

スランプ6.5cmの場合、単位粗骨材かさ容積は、スランプ2.5cmより小さかった。同じプラントから出荷されたス

スランプ2.5cmと6.5cmのコンクリートの単位粗骨材かさ容積の関係をみると(図-10), スランプ6.5cmの場合の方が小さい。これは、スランプを大きくするために、単位水量と単位セメント量を多くしたことにより、単位粗骨材量が少なくなったことによるものと考えられる。

4.7 単位混和剤量

混和剤の添加量は単位セメント量に対する比率(以下、添加率)で設定されていた。表-6に本調査で確認された混和剤の添加率を示す。添加率は、セメントの種類やスランプの大小によらず、約1.0%であった。

表-5 単位粗骨材かさ容積の範囲と平均値

コンクリートの種類	単位粗骨材かさ容積(m^3/m^3)	
	範囲	平均値
曲げ5.0-2.5-40N	0.71 ~ 0.78	0.75
曲げ5.0-2.5-40BB	0.67 ~ 0.75	0.72
曲げ5.0-6.5-40N	0.66 ~ 0.75	0.72
曲げ5.0-6.5-40BB	0.67 ~ 0.74	0.71

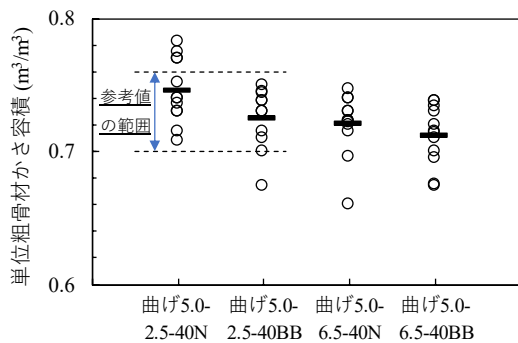


図-9 単位粗骨材かさ容積の分布

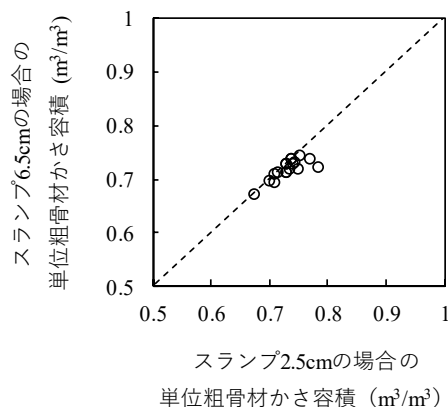


図-10 同一プラントにおけるスランプ2.5cmと6.5cmのコンクリートの単位粗骨材かさ容積の関係

5. スランプ, 空気量, 曲げ強度に関する調査結果

空港土木工事共通仕様書では、レディーミクストコンクリートの品質として、スランプ、空気量及び曲げ強度についての規定があるため、配合設計の時には、それらの規定を満足する配合であることを試験練りで確認し、打ち込み現場では、品質管理として確認する。本章では、試験練り時と打ち込み現場で確認されたスランプ、空気量及び曲げ強度を整理した結果を示す。整理の対象とするコンクリートの種類は前章と同様とする。

5.1 スランプ

図-11に、各プラントで実施した試験練り時のスランプをコンクリートの種類ごとに示す。スランプ2.5cmのコンクリートでは、品質管理規格の上限である3.5cmより大きい場合があり、スランプ6.5cmのコンクリートでは、品質管理規格の上限である8.0cmより大きい場合があった。これは、プラントによっては、打ち込み現場まで運搬する時などに生じるスランプロスを見込んだ配合としていることを意味する。なお、使用するプラントから空港までの距離が同程度であっても、スランプロスを見込む工事と見込まない工事があったことから、プラントから空港までの距離がスランプロスを見込むか否かに必ずしも関係しているわけではなかった。ロスの有無は、制限区域

表-6 混和剤の添加率の範囲と平均値

コンクリートの種類	単位セメント量に対する混和剤の添加率(%)	
	範囲	平均値
曲げ5.0-2.5-40N	0.6 ~ 1.5	1.0
曲げ5.0-2.5-40BB	0.7 ~ 1.1	1.0
曲げ5.0-6.5-40N	1.0 ~ 1.5	1.1
曲げ5.0-6.5-40BB	0.7 ~ 1.1	1.0

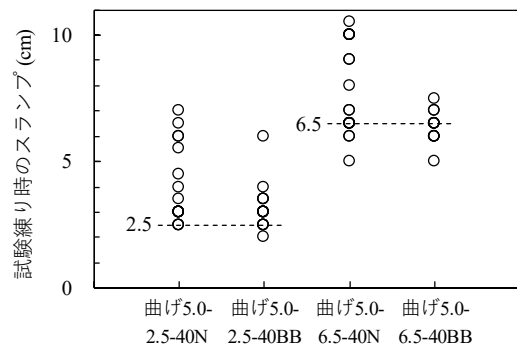


図-11 試験練り時のスランプ

内への入場も含めた打ち込み現場までの運搬時間や打設時期などを踏まえている可能性がある。

図-12には、各プラントのコンクリートのスランプについて、試験練り時と打ち込み現場での関係を示す。打ち込み現場でのスランプは、現場で定期的に確認された値の平均値である。いずれのプラントのコンクリートについても、打ち込み現場でのスランプは、2.5cmあるいは6.5cmに対して定められた許容範囲内にあった。なお、2.5cmと6.5cmはJISで定められた荷卸し時点での値であり、機械施工の場合は2.5cm、人力施工の場合は6.5cmで品質管理がなされていた。

なお、空港土木工事共通仕様書において、打ち込み現場におけるスランプの品質管理の規格値として、スランプ2.5cmの場合には $\pm 1\text{cm}$ が示されている一方で、スランプ6.5cmの場合には明示されていない。本調査結果では、いずれの工事においても、JISで定められる許容範囲である $\pm 1.5\text{cm}$ が品質管理に用いられていた。

5.2 空気量

図-13に、各プラントで実施した試験練り時の空気量をコンクリートの種類ごとに示す。空港土木工事共通仕様書の規定では4.5%であるが、スランプと同様に、プラントによってはロスを見込んだ配合としていた。

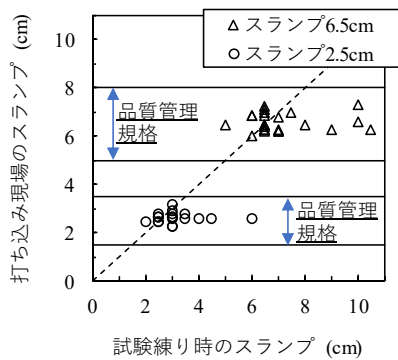


図-12 試験練り時と打ち込み現場でのスランプの関係

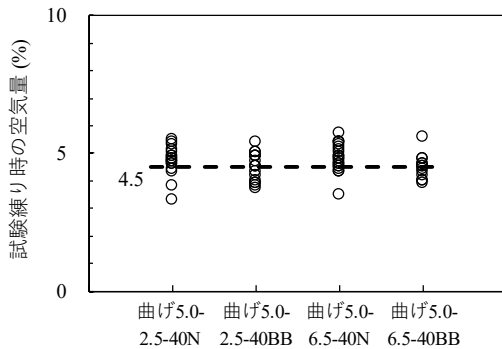


図-13 試験練り時の空気量

図-14に、各プラントのコンクリートの空気量について、試験練り時と打ち込み現場での関係を示す。打ち込み現場での空気量は、試験練り時より小さい傾向にあり、共通仕様書で定められる品質の許容範囲内にあった。なお、4.5%はJISで定められた荷卸し時点での値であり、施工方法によらず4.5%で品質管理がなされていた。

5.3 曲げ強度

図-15に、各プラントで実施した試験練り時の曲げ強度

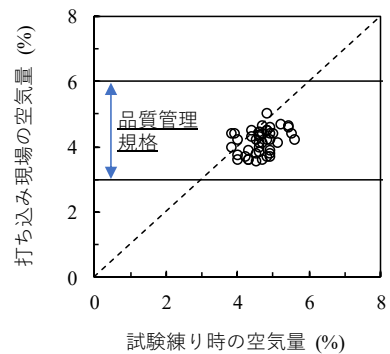
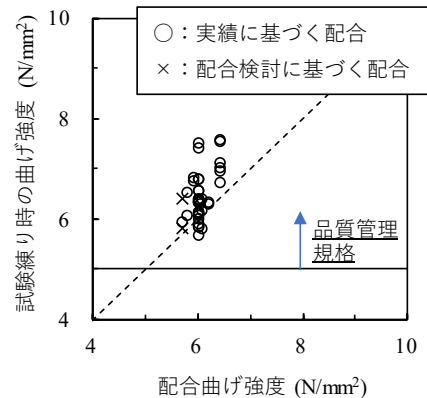
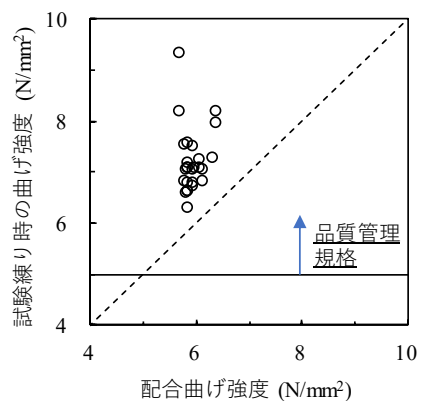


図-14 試験練り時と打ち込み現場での空気量の関係



a) 普通ポルトランドセメントを用いた場合



b) 高炉セメントB種を用いた場合

図-15 配合曲げ強度に対する試験練り時の曲げ強度

を配合曲げ強度に対して示す。普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートでは、試験練り時の曲げ強度が配合曲げ強度に対して高い場合があり、高炉セメントB種を用いたコンクリートでは、試験練りを実施した全てで、配合曲げ強度より高かった。

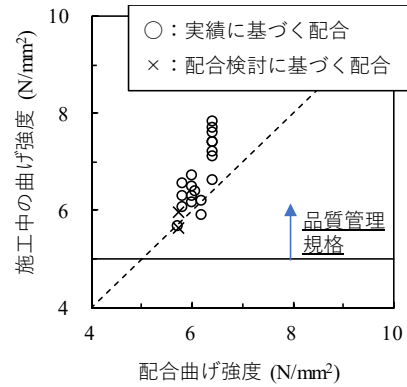
図-16には、各プラントのコンクリートの施工中の曲げ強度を配合曲げ強度に対して示す。図に示す施工中の曲げ強度は、定期的に確認された施工中の曲げ強度を平均化した値である。施工中の曲げ強度も配合曲げ強度より高い場合があり、配合曲げ強度に対する傾向は、施工中と試験練り時の曲げ強度と同様であった。上記は、プラントが保有する曲げ強度とセメント水比の関係式に基づき、配合曲げ強度が得られる水セメント比を設定したものの、実際には配合曲げ強度以上の強度が得られる場合があったことを意味している。すなわち、呼び曲げ強度に対して必要以上に余裕を見込んだ配合となっていたことが示唆される。

図-17には、水セメント比が本調査で最小値で、施工直後に収縮ひび割れが生じたコンクリートを用いた工事について、施工中の曲げ強度の頻度分布を示す。この工事に用いたコンクリートの配合曲げ強度は 6.3N/mm^2 であったが、定期的に確認された施工中の曲げ強度で 6.3N/mm^2 を下回るコンクリートは確認されなかった。統計的には、 6.3N/mm^2 を下回るコンクリートは50%の確率で出現するが実際には出現しておらず、試験練り時の曲げ強度も $7.3\sim 8.2\text{N/mm}^2$ であったことを踏まえると、呼び曲げ強度に対して余裕を見込んだ配合となっていたといえる。試験練り時の曲げ強度が配合曲げ強度より高い場合には、水セメント比を上げることや単位セメント量を少なくするなど、配合を検討する余地はあると考えられる。

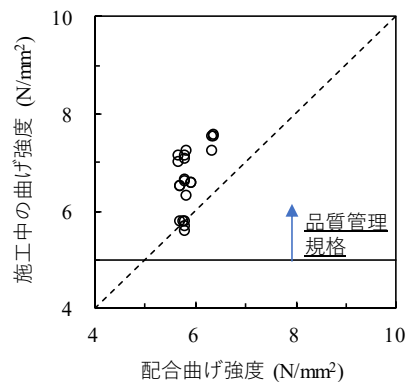
6. まとめ

本調査では、空港で実施された25件の無筋コンクリート舗装工事で用いたコンクリートの配合設計や品質管理に関する資料を収集し、空港で用いられる無筋コンクリートの配合について整理した。得られた結果を以下に示す。

- (1) コンクリートは全てレディーミクストコンクリートであり、粗骨材のほぼ全てが最大粒径 40mm の砕石、混和材料は全てAE減水剤であった。セメントは、普通ポルトランドセメントが最も多く、高炉セメントB種や中熱ポルトランドセメントを用いた場合もあった。
- (2) レディーミクストコンクリートの配合は、プラント



a) 普通ポルトランドセメントを用いた場合



b) 高炉セメントB種を用いた場合

図-16 配合曲げ強度に対する施工中の曲げ強度

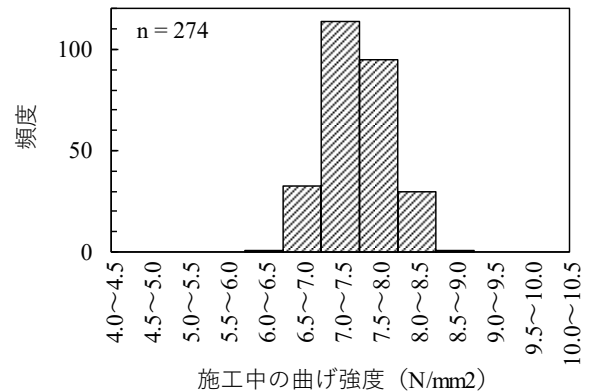


図-17 曲げ $5.0\sim 2.5\text{-}40\text{BB}$ を用いた工事における施工中の曲げ強度の頻度分布

の出荷実績に基づき設定されることがほとんどであり、試験練りにより配合が検討された工事は少なかった。

- (3) 呼び曲げ強度に対する割増し係数の平均値は約1.2であり、その場合の配合曲げ強度は 6.0N/mm^2 である。
- (4) 配合曲げ強度を得るための水セメント比を決定する際に用いられる曲げ強度とセメント水比の関係式は、

プラントごとに保有されていた。その関係式で得られる水セメント比では、配合曲げ強度以上の強度が実際には得られ、呼び曲げ強度に対して必要以上に余裕を見込んだ配合となっている場合があった。

- (5) スランブ2.5cmのコンクリートの場合、水セメント比の平均値は約40%、単位水量の平均値は約140kg/m³、単位セメント量の平均値は約360 kg/m³であった。
- (6) スランブ6.5cmのコンクリートの場合、単位水量と単位セメント量は、スランブ2.5cmの場合より多くなる傾向にあった。これは、スランブ2.5cmと同じ水セメント比としつつ、スランブを大きくするためであると考えられる。
- (7) 単位粗骨材かさ容積の平均値は、スランブ2.5cmのコンクリートの場合、普通ポルトランドセメントで0.75、高炉セメントB種で0.72であった。スランブ6.5cmの場合は、スランブ2.5cmの場合より小さかった。
- (8) 単位混和剤量は、単位セメント量に対する比率で設定されており、その比率の平均値は約1.0%であった。
- (9) 配合設定においてスランブロス及び空気量ロスを見込む場合と見込まない場合があったが、打ち込み現場におけるコンクリートのスランブと空気量は、JISで定められた荷卸し時点での値で管理されていた。

(2023年11月2日受付)

参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会：舗装設計施工指針，2006.
- 2) (公社) 日本道路協会：コンクリート舗装ガイドブック2016，2016.
- 3) 増田健一，魚本健人：高炉セメントの利用に及ぼす社会的諸要因の検討（その2），生産研究，Vol. 49，No. 10，pp. 57-59，1997.
- 4) 国土交通省航空局監修：空港土木工事共通仕様書，<https://www.mlit.go.jp/koku/content/001597578.pdf>，2023.
- 5) 竹井利公：舗装用コンクリートの配合について（セットフォーム工法用），舗装，Vol. 54，No. 10，pp. 1-2，2019.
- 6) (一財) セメント協会：コンクリート専門委員会報告F-20「砕石を用いた舗装用コンクリートの圧縮強度及び曲げ強度に関する報告」，1968.

付録A 各工事におけるコンクリートの単位量など

表-A.1 曲げ5.0-2.5-40Nの場合

工事 番号	プラント 番号	コンクリート の種類	水セメント 比(%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)						試験値			打ち込み現場			
					セメント	水	細骨材		粗骨材	混和剤		スランブ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	スランブ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)
							①	②		①	②						
工事1	プラント1	曲げ5.0-2.5-40N	43.0	36.0	310	133	351	354	751	500	3.10	4.0	4.8	6.42	2.6	4.5	5.98
	プラント3	曲げ5.0-2.5-40N	41.3	35.9	351	145	658		726	475	5.27	6.0	4.8	6.08	2.6	4.5	
工事4	プラント3	曲げ5.0-2.5-40N	42.1	33.6	335	141	624		698	560	4.02	6.5	4.4	6.34			
	プラント4	曲げ5.0-2.5-40N	42.0	34.4	333	140	634		691	557	3.00	7.0	5	5.82			
工事5	プラント5	曲げ5.0-2.5-40N	42.9	34.6	327	140	637		694	557	2.94	6.0	5.1	6.13			
	プラント6	曲げ5.0-2.5-40N	42.1	33.6	335	141	438	188	697	559	3.69	5.5	5.3	6.30			
工事6	プラント3	曲げ5.0-2.5-40N	42.1	33.6	335	141	624		698	560	4.02	6.5	4.4	6.34	3.0	4.1	6.74
	プラント4	曲げ5.0-2.5-40N	42.0	34.4	333	140	634		691	557	3.33	7.0	5	5.82	2.8	4.3	6.49
	プラント5	曲げ5.0-2.5-40N	42.9	34.6	327	140	637		694	557	3.27	6.0	5.1	6.1	2.8	4	6.16
	プラント6	曲げ5.0-2.5-40N	42.1	33.6	335	141	438	188	697	559	3.69	5.5	5.3	6.30	2.8	4.2	6.32
工事9	プラント8	曲げ5.0-2.5-40N	38.0	40.0	398	151	705		544	543	4.78				2.5	3.8	7.41
工事10	プラント8	曲げ5.0-2.5-40N	38.0	40.0	398	151	705		544	543	4.78	2.5	3.8	7.01	2.5	4	7.60
工事11	プラント8	曲げ5.0-2.5-40N	38.0	40.0	398	151	705		544	543	4.78	2.5	4.6	7.09	2.5	4.1	7.71
工事12	プラント8	曲げ5.0-2.5-40N	38.0	40.0	398	151	705		544	543	4.78	3.0	4.6	7.54	2.3	4	7.85
工事13	プラント9	曲げ5.0-2.5-40N	40.0	36.9	353	141	668		659	553	3.63	3.0	4.7				
	プラント10	曲げ5.0-2.5-40N	39.0	35.1	367	143	627		737	486	3.67	3.0	4.9				
工事14	プラント11	曲げ5.0-2.5-40N	41.4	32.3	351	145	581		623	626	2.81	3.5	4.7	6.31	2.8	4.1	5.90
	プラント12	曲げ5.0-2.5-40N	40.0	35.2	363	145	632		596	595	2.18	4.5	5.5	6.27	2.6	4.4	6.40
	プラント13	曲げ5.0-2.5-40N	40.0	39.2	365	146	699		549	549	2.92	3.0	4.3	6.29	2.9	3.9	6.20
	プラント14	曲げ5.0-2.5-40N	38.5	35.4	379	146	320	319	721	481	3.41	2.0	3.4	6.54	3.0	3.8	
工事15	プラント15	曲げ5.0-2.5-40N	39.5	35.0	380	150	377	252	721	481	2.66	2.5	3.3	7.40			
	プラント16	曲げ5.0-2.5-40N	39.0	33.9	375	146	308	308	739	493	4.88	3.0	5.4	5.80			
	プラント17	曲げ5.0-2.5-40N	39.5	33.1	367	145	359	246	752	501	3.67	3.0	4.7	6.74	2.8	3.6	

付録-A.2 曲げ5.0-2.5-40BBの場合

工事 番号	プラント 番号	コンクリート の種類	水セメント 比(%)	細骨材率 (%)	単位量 (kgm ³)										試験値				打ち込み現場					
					セメント	水	細骨材			粗骨材				水和剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)				
							①	②	③	15-5mm	20-5mm	20-10mm	40-20mm								40-5mm			
工事16	プラント18	曲げ5.0-2.5-40BB	41.5	36.8	320	133	341	341				606	610		2.88									
工事17	プラント18	曲げ5.0-2.5-40BB	41.5	36.8	320	133	341	341				610		602	2.88									
工事18	プラント19	曲げ5.0-2.5-40BB	41.0	43.2	330	135	817					655		436	2.64	2.0	4.0	7.53	2.5	3.6	6.60			
	プラント20	曲げ5.0-2.5-40BB	40.0	36.5	353	141	459	199				761		506	3.53	2.5	4.9	7.2	2.7	3.8	7.09			
	プラント21	曲げ5.0-2.5-40BB	39.0	35.3	359	140	633					614		614	3.59	3.0	4.5	6.32	3.2	3.6	6.62			
	プラント22	曲げ5.0-2.5-40BB	39.0	34.5	364	142	429	194				618		617	4.00	3.0	4.9	7.12	2.3	4.4	7.25			
	プラント23	曲げ5.0-2.5-40BB	39.0	38.7	359	140	174	523				712		475	3.23	2.5	4.7	8.23	2.8	4.6	7.03			
	プラント24	曲げ5.0-2.5-40BB	37.0	36.2	395	146	193	257	192			748		499	3.95	3.5	5.0	7.27						
	プラント25	曲げ5.0-2.5-40BB	40.0	36.7	350	140	663					659		553	3.50	3.0	5.0	7.61						
工事20	プラント28	曲げ5.0-2.5-40BB	37.9	37.2	361	137	353	353		321	321		641		3.61	4.0	3.7	7.56						
	プラント29	曲げ5.0-2.5-40BB	40.6	38.3	360	146	413	283		321	321		598		3.60	3.5	4.5	7.09						
	プラント30	曲げ5.0-2.5-40BB	41.8	39.9	340	142	362	405		722			485		3.50	3.0	5.4	7.07	2.6	4.6	5.70			
	プラント31	曲げ5.0-2.5-40BB	41.0	38.6	351	144	392	349			761		507		3.51	2.5	3.8	7.18	2.7	4.4	6.70			
	プラント32	曲げ5.0-2.5-40BB	39.0	33.1	369	144	469	117			735		498		3.69				2.2	3.9	7.68			
	プラント33	曲げ5.0-2.5-40BB	39.0	32.7	372	145	407	175			628		628		3.72									
	プラント34	曲げ5.0-2.5-40BB	38.0	33.5	382	145	413	178				616		591	2.67				2.2	4.1	8.01			
工事22	プラント35	曲げ5.0-2.5-40BB	36.0	32.9	403	145	228	228	123	238	594		357		4.03	3.0	4.5				7.57			
	プラント36	曲げ5.0-2.5-40BB	36.0	32.9	403	145	403	173		297		416	476		4.03	2.5	3.9				7.55			
	プラント37	曲げ5.0-2.5-40BB	36.0	32.9	403	145	402	184		476	356		356		5.24	6.0	4.2							
	プラント35	曲げ5.0-2.5-40BB	36.0	32.9	403	145	244	343						1189	4.03	3.0	3.9	8.21	2.7	4.4	7.55			
工事23	プラント36	曲げ5.0-2.5-40BB	36.0	32.9	403	145	403	173						1189	4.03	3.5	4.9	7.99	2.6	3.9	7.25			
	プラント37	曲げ5.0-2.5-40BB	36.0	32.9	403	145	403	185						1189	3.24			7.31						

付録-A.3 曲げ5.0-6.5-40Nの場合

工事 番号	プラント 番号	コンクリート の種類	水セメン ト比(%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)										試験値				打ち込み現場			
					セメント	水	細骨材				粗骨材				混和剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	
							①	②	15-5mm	20-5mm	20-10mm	40-20mm										
工事1	プラント1	曲げ5.0-6.5-40N	43.0	36.0	326	140	343	347			740	492	3.26	8.0	5.4	5.82	6.5	4.7	5.69			
工事2	プラント1	曲げ5.0-6.5-40N	45.0	36.0	312	140	692			740	478	3.12	7.0	4.6	5.92	6.3	4.4	5.66				
工事3	プラント2	曲げ5.0-6.5-40N	35.9	40.0	396	142	145	585			670	431	3.96	6.0	4.9		6.0	4.6	6.12			
工事4	プラント3	曲げ5.0-6.5-40N	41.3	36.4	368	152	655			708	463	5.52	10.0	5.2	6.36		7.3	4.7				
	プラント4	曲げ5.0-6.5-40N	41.5	36.5	361	150	655			829	347	3.61	10.0	5	5.99	6.6	4.4					
	プラント5	曲げ5.0-6.5-40N	42.9	35.8	345	148	648			667	535	3.45	9.0	5.1	5.88	6.3	4.1					
工事5	プラント6	曲げ5.0-6.5-40N	42.1	37.5	354	149	479	205		643	517	3.89	10.5	4.7	6.04	6.3	4.4					
	プラント3	曲げ5.0-6.5-40N	42.1	33.6	352	148	613			686	551	4.23	10.0	5.3	6.33							
	プラント4	曲げ5.0-6.5-40N	42.0	35.4	345	145	645			672	541	3.45	10.0	4.8	6.77							
工事6	プラント5	曲げ5.0-6.5-40N	42.9	35.8	345	148	648			667	535	3.45	10.0	5.4	6.39							
	プラント6	曲げ5.0-6.5-40N	42.1	37.5	354	149	479	205		643	517	3.89	9.0	5.4	6.55							
	プラント7	曲げ5.0-6.5-40N	41.0	36.0	371	152	445	190	346		346	509	3.71			6.1	5.0	6.08				
工事8	プラント7	曲げ5.0-6.5-40N	39.0	42.2	382	149	763		321		460	5.73	7.0	4.6	6.06	6.2	4.3	6.30				
工事9	プラント8	曲げ5.0-6.5-40N	38.0	42.0	419	159	723			514	514	5.03				6.1	4.2	7.21				
工事10	プラント8	曲げ5.0-6.5-40N	38.0	42.0	419	159	723			514	514	5.03	6.5	4.4	6.71	6.5	4.3	7.11				
工事11	プラント8	曲げ5.0-6.5-40N	38.0	42.0	419	159	723			514	514	5.03	6.5	4.9	6.94	6.3	4.2	6.64				
工事12	プラント8	曲げ5.0-6.5-40N	38.0	42.0	419	159	723			514	514	5.03	6.5	4.8	7.57	6.4	4.2	7.43				
工事13	プラント9	曲げ5.0-6.5-40N	40.0	35.4	375	150	627			659	553	3.75	6.5	4.5	5.71	7.1	3.8	5.82				
	プラント10	曲げ5.0-6.5-40N	39.0	34.3	393	153	596			726	481	3.93	6.5	4.3	6.52	7.0	3.6	6.56				
	プラント14	曲げ5.0-6.5-40N	38.5	35.3	400	154	312	312		706	471	3.60	5.5	4.8	6.29	6.0	3.2					
工事15	プラント15	曲げ5.0-6.5-40N	39.5	34.4	390	154	366	244		721	481	3.90	5.0	3.5	7.51							
	プラント16	曲げ5.0-6.5-40N	39.0	33.9	393	153	303	303		726	484	5.11	6.5	5.7	6.15							
	プラント17	曲げ5.0-6.5-40N	39.5	32.5	383	151	346	237		747	498	3.83	6.5	4.3	6.82	6.3	3.6					

付録-A.4 曲げ5.0-6.5-40BBの場合

工事 番号	プラント 番号	コンクリート の種類	水セメン ト比(%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)										試験値			打ち込み現場		
					セメント	水	細骨材			③	粗骨材				スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)
							①	②	③		15-5mm	20-5mm	20-10mm	40-20mm						
工事16	プラント18	曲げ5.0-6.5-40BB	41.5	36.9	340	141	335	333					592		588	6.0	4.1	6.44		
工事17	プラント18	曲げ5.0-6.5-40BB	41.5	36.9	340	141	335	333					597		588	5.8	4.6	6.36		
工事18	プラント19	曲げ5.0-6.5-40BB	41.0	40.8	369	151	740						655		436	6.9	3.7	6.60		
	プラント20	曲げ5.0-6.5-40BB	40.0	35.1	373	149	433	186					761		506	6.8	3.7	6.65		
工事19	プラント21	曲げ5.0-6.5-40BB	39.0	33.8	382	149	592						614		614	6.5	3.7	5.59		
	プラント22	曲げ5.0-6.5-40BB	39.0	35.4	390	152	429	194					593		593	7.0	4.8	6.31		
	プラント23	曲げ5.0-6.5-40BB	39.0	37.2	382	149	163	490					712		475	6.0	4.6	9.36		
	プラント24	曲げ5.0-6.5-40BB	37.0	34.6	419	155	179	239	180				748		499	6.5	4.4	7.10		
	プラント25	曲げ5.0-6.5-40BB	40.0	35.1	373	149	619						659		553	6.5	4.6	7.11		
	プラント26	曲げ5.0-6.5-40BB	40.5	39.1	361	146	692						688		459					
	プラント27	曲げ5.0-6.5-40BB	44.0	41.5	341	150	524	225					676		450	7.5	4.5	7.12		
	プラント28	曲げ5.0-6.5-40BB	37.9	37.1	377	143	346	346					316		632	7.0	4.0	6.86		
工事20	プラント29	曲げ5.0-6.5-40BB	40.6	37.6	372	151	400	275					321		595	6.0	4.3	6.85		
	プラント30	曲げ5.0-6.5-40BB	41.8	38.0	369	154	335	374					722		485	6.5	5.6	6.62		
	プラント31	曲げ5.0-6.5-40BB	41.0	37.8	366	150	378	336					761		507	6.0	3.9	7.42		
	プラント32	曲げ5.0-6.5-40BB	39.0	31.8	387	151	442	111					735		498	7.3	4.1	7.28		
工事21	プラント33	曲げ5.0-6.5-40BB	39.0	31.4	390	152	383	164					628		628	6.7	4.3	7.00		
	プラント34	曲げ5.0-6.5-40BB	38.0	32.2	400	152	390	168					616		591	6.8	4.0	7.21		

付録-A.5 曲げ5.0-5.0-40N, 曲げ4.9-2.5-40N, 曲げ4.9-6.5-40Nの場合

工事 番号	プラント 番号	コンクリート の種類	水セメン ト比(%)	細骨材率 (%)	単位置量 (kg/m ³)								試験練り			打ち込み現場		
					セメント	水	細骨材	石粉	粗骨材		混和剤	スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	空気量 (%)	曲げ強度 (N/mm ²)	
									20-5mm	40-20mm								
工事24	プラント38	曲げ5.0-5.0-40N	38.7	33.4	367	142	599		844	363	3.67	5.0	3.1	6.73	5.3	3.5	5.82	
工事25	プラント39	曲げ4.9-2.5-40M	41.1	33.7	316	130	648	5	510	764	1.19	2.0	3.8	5.86	1.9	4.2	5.40	
工事25	プラント39	曲げ4.9-6.5-40M	41.1	35.0	336	138	658	5	490	734	1.26	7.5	4.1	5.31				

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of NILIM

No. 1265

January 2024

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写のお問い合わせは
〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1
管理調整部企画調整課 電話:046-844-5019
E-mail:ysk.nil-46pr@gxb.mlit.go.jp

