

空港の無筋コンクリート舗装に用いる コンクリートの配合に関する調査

空港研究部 河村 直哉
坪川 将丈

背景

- 無筋コンクリート舗装で、近年、低い水セメント比(W/C)のコンクリートが採用されることがある。
 - W/Cを低くすると、曲げ強度は高くなる反面、収縮量が多くなるため、施工後の不具合に繋がった事例もある。
 - W/Cやセメント量等の**配合は、空港舗装での目安や実績が整理されておらず、技術者の経験によるところが大きい。**
- **技術継承が今後深刻化する状況にあっては、実績等の資料が空港でも重要となる**(発注者としては、施工者から提示された配合のチェックに役立つ)。

空港の品質規定

作業性
(スランプ、空気量) 曲げ強度
5.0N/mm²以上

耐久性
(W/C ≤ 50%)

道路の書物

舗装設計施工指針



調査目的

調査目的

空港の無筋コンクリート舗装に用いるコンクリートの配合の実績をまとめ、配合設計等のための参考資料とすること。

調査概要

地方整備局と空港会社が実施した無筋コンクリート舗装工事について、コンクリートの配合に関する資料を収集し、配合の実績等を整理した。

資料目次

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

2. 調査方法

2.1 調査対象

- ・ 空港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
- ・ 全国の空港を対象とし、過去5年程度で実施された工事

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	羽田空港, 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

- ・ 配合設計に関する資料
- ・ 施工時の品質管理に関する資料

工事の流れイメージ

工事着手



・・・材料・配合計画の提出

材料準備、配合設計



・・・試験練り報告書の提出

コンクリート打設

・・・品質管理結果の提出



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、レディーミクストコンクリート7種類
- 1つの工事で、複数のプラントを使用している場合がある。
- スランプ
2.5cm: 機械施工(セットフォーム工法)
5.0cm: 機械施工(スリップフォーム工法)
6.5cm: 人力施工

	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: 中熱ポルトランドセメント

BB: 高炉セメントB種

本調査における
コンクリートの種類の呼称

曲げ強度

スランプ

粗骨材の
最大寸法

曲げ5.0 - 2.5 - 40N

セメントの種類

資料目次

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



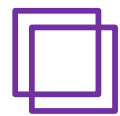
3. コンクリートの材料に関する調査結果

- 粗骨材には、最大寸法40mmの砕石を使用
(道路で用いられる最大寸法20mmや25mmは、
空港では確認されなかった)
- セメントは3種類。普通ポルトランドセメントが主
高炉セメントB種を用いた工事は、いずれも西日本の空港
(製鉄所が偏在し、高炉スラグが安価で調達しやすいから?)
- 混和材料は、AE減水剤を使用
(添加量は、単位セメント量の1.0wt.%前後)

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

資料目次

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



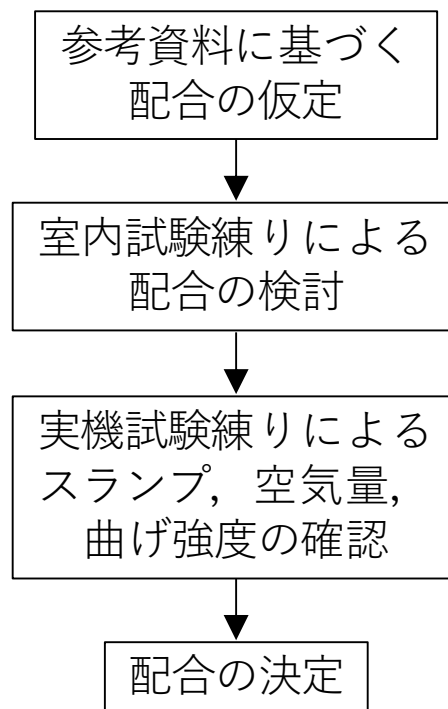
4.1 配合設計の手順

配合設計・・・ 所定の品質（スランプ、空気量、曲げ強度）のコンクリートが得られるよう、各材料の**単位量**を定めること

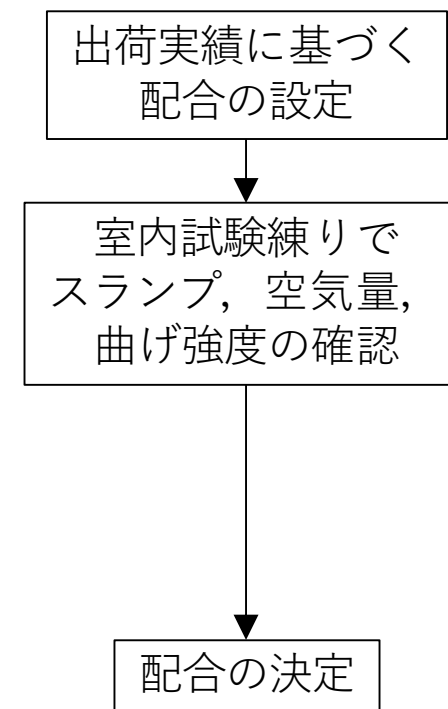
単位量・・・ コンクリート1m³を作るのに必要なセメント、水、骨材の質量（**単位●●量と記載**）

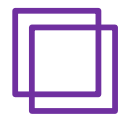
- 23/25件の工事にて、プラントの出荷実績に基づく配合を採用。
- 試験練りで配合を検討する工事は、2件と少なかった。

（ボタン1）



（ボタン2）





4.2 プラントの出荷実績に基づく配合の設定手順

配合計算書の抜粋

割増し係数

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 \qquad \alpha_2 = \frac{1}{1 - \frac{3.0 \cdot v}{100\sqrt{3}}} = 1.16$$m = \alpha_2 \times S_L = 1.16 \times 5.0 = 5.80 \text{ N/mm}^2$		
		よって	m = 5.80 N/mm ²

2) 水セメント比
の計算

(3) 水セメント比 (W/C)	$m = -1.07 + 2.75 \times C/W$ $W/C = 2.75 \div (5.80 + 1.07) \times 100 = 40 \% \leq \text{【50\% (上限値)】}$ $\therefore W/C = 40 \%$	
------------------	--	--

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)	$C = W \div (W/C) \times 100 = 141 \div 40 \times 100 = 353 \text{ kg/m}^3$ $C_v = C \div \text{密度} = 353 \div 3.04 = 116 \text{ L/m}^3$	

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 % $G_v = 0.738 \times 1000 \times 60.0 \div 100 = 443 \text{ L/m}^3$ $G1_v = G_v \times 60.0 \% = 266 \text{ L/m}^3 \quad G1 = G1_v \times \text{表乾密度} = 266 \times 2.86 = 761 \text{ kg/m}^3$ $G2_v = G_v \times 40.0 \% = 177 \text{ L/m}^3 \quad G2 = G2_v \times \text{表乾密度} = 177 \times 2.86 = 506 \text{ kg/m}^3$	
(8) 単位細骨材量 (S)	$S_v = 1000 - (W + C_v + G_v + A) = 1000 - 745 = 255 \text{ L/m}^3$ $S1_v = S_v \times 70.0 \% = 178 \text{ L/m}^3 \quad S1 = S1_v \times \text{表乾密度} = 178 \times 2.58 = 459 \text{ kg/m}^3$ $S2_v = S_v \times 30.0 \% = 77 \text{ L/m}^3 \quad S2 = S2_v \times \text{表乾密度} = 77 \times 2.58 = 199 \text{ kg/m}^3$	

5) 単位混和剤量
の計算

(9) 細骨材率 (s/a)	s/a = S_v ÷ (G_v + S_v) × 100 = 36.5 %	
(10) 単位混和剤量 (Ad)	Ad = C × 添加率 = 353 × 1.0000 % = 3.53 kg/m 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)

配合曲げ強度

=

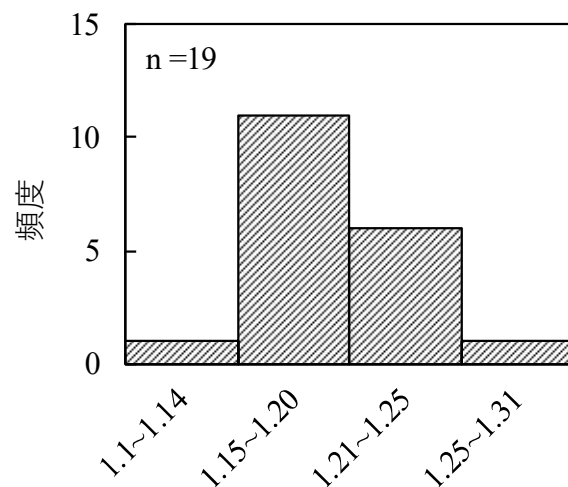
設計曲げ強度

×

割増し係数

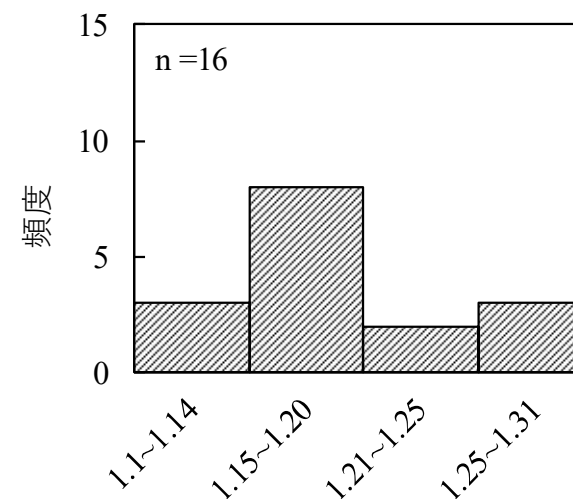
↑
プラントが目標とする強度。実際の強度が設計強度を下回らないように、呼び曲げ強度を割増したもの

Nの場合の割増し係数(平均値1.20)



呼び強度に対する割増し係数

BBの場合の変動係数(平均値1.19)



呼び強度に対する割増し係数

道路では1.269が多いと言われているが、空港はそこまで大きくない。

4.5 水セメント比、単位水量、単位セメント量

配合計算書(抜粋)

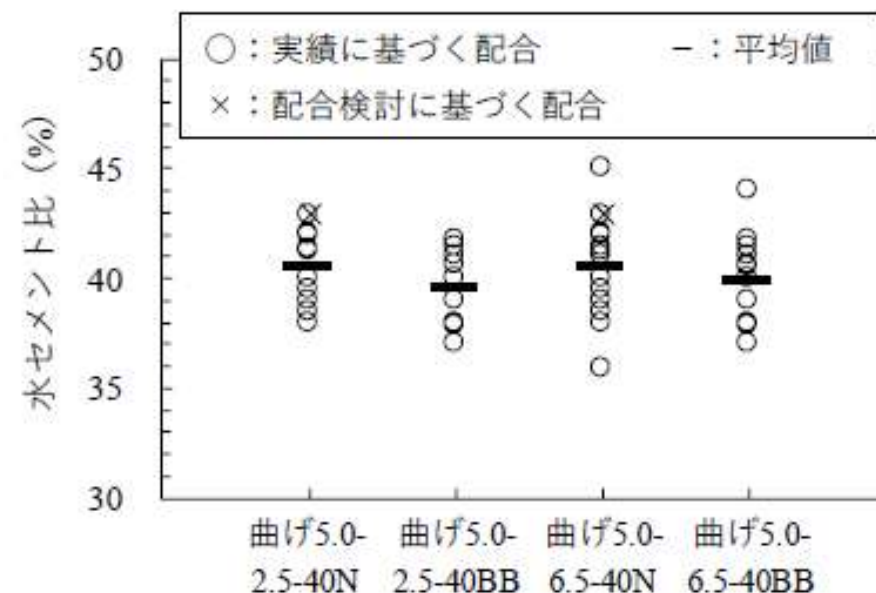
強度とセメント水比の関係式

(3) 水セメント比(W/C)	$m = -1.07 + 2.75 \times C/W$ $W/C = 2.75 \div (5.80 + 1.07) \times 100 = 40 \% \leq \text{【50\% (上限値)】}$ $\therefore W/C = 40 \%$
(4) 単位水量(W)	当工場の実績により $W = 141 \text{ kg/m}^3$
(5) 単位セメント量(C)	$C = W \div (W/C) \times 100 = 141 \div 40 \times 100 = 353 \text{ kg/m}^3$ $C_v = C \div \text{密度} = 353 \div 3.04 = 116 \text{ L/m}^3$

範囲と平均値

コンクリートの種類	水セメント比 (%)	
	範囲	平均値
曲げ5.0-2.5-40N	38.0 ~ 43.0	40.5
曲げ5.0-2.5-40BB	37.0 ~ 41.8	39.6
曲げ5.0-6.5-40N	35.9 ~ 45.0	40.5
曲げ5.0-6.5-40BB	37.0 ~ 44.0	39.9

分布



- 水セメント比は、セメントの種類、スランプによらず、40%前後
- 同じプラントからスランプ2.5cmと6.5cmを出荷する場合、水セメント比は同じ

4.5 水セメント比、単位水量、単位セメント量

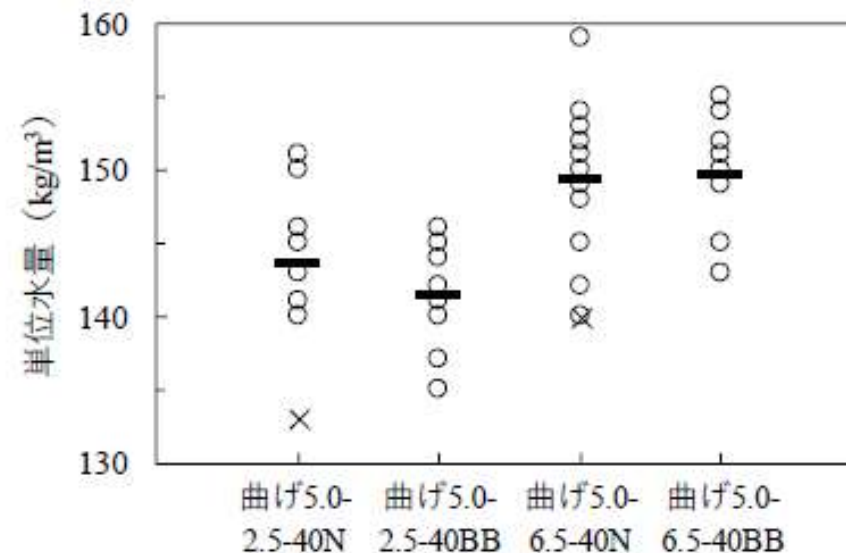
配合計算書(抜粋)

(3)水セメント比(W/C)	$m = -1.07 + 2.75 \times C/W$ $W/C = 2.75 \div (5.80 + 1.07) \times 100 = 40 \% \leq \text{【50\%(上限値)】}$ $\therefore W/C = 40 \%$
(4)単位水量(W)	当工場の実績により $W = 141 \text{ kg/m}^3$
(5)単位セメント量(C)	$C = W \div (W/C) \times 100 = 141 \div 40 \times 100 = 353 \text{ kg/m}^3$ $C_v = C \div \text{密度} = 353 \div 3.04 = 116 \text{ L/m}^3$

範囲と平均値

コンクリートの種類	単位水量 (kg/m ³)	
	範囲	平均値
曲げ5.0-2.5-40N	133 ~ 151	144
曲げ5.0-2.5-40BB	135 ~ 146	141
曲げ5.0-6.5-40N	140 ~ 159	149
曲げ5.0-6.5-40BB	143 ~ 155	150

分布



- ・ スランプ2.5cmのコンクリートの単位水量は、140kg/m³前後
- ・ スランプ6.5cmの場合、2.5cmに対して5～8kg/m³多い
(単位水量を多くして、スランプを大きくする)

4.5 水セメント比、単位水量、単位セメント量

配合計算書(抜粋)

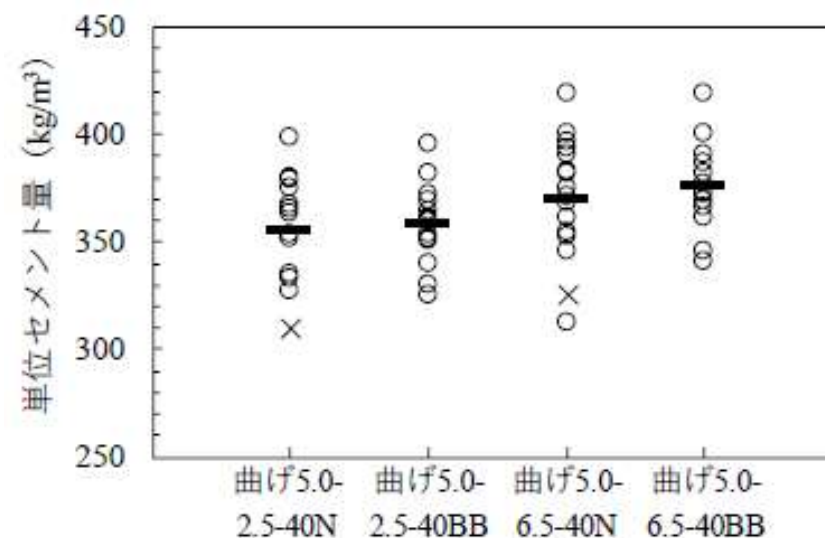
(3)水セメント比(W/C)	$m = -1.07 + 2.75 \times C/W$ $W/C = 2.75 \div (5.80 + 1.07) \times 100 = 40 \% \leq \text{【50\%(上限値)】}$ $\therefore W/C = 40 \%$
(4)単位水量(W)	当工場の実績により $W = 141 \text{ kg/m}^3$
(5)単位セメント量(C)	$C = W \div (W/C) \times 100 = 141 \div 40 \times 100 = 353 \text{ kg/m}^3$ $C_v = C \div \text{密度} = 353 \div 3.04 = 116 \text{ L/m}^3$

- ・単位セメント量は、算定した水セメント比と単位水量から算定

範囲と平均値

コンクリートの種類	単位セメント量 (kg/m ³)	
	範囲	平均値
曲げ5.0-2.5-40N	310 ~ 398	356
曲げ5.0-2.5-40BB	325 ~ 395	358
曲げ5.0-6.5-40N	312 ~ 419	370
曲げ5.0-6.5-40BB	341 ~ 419	376

分布

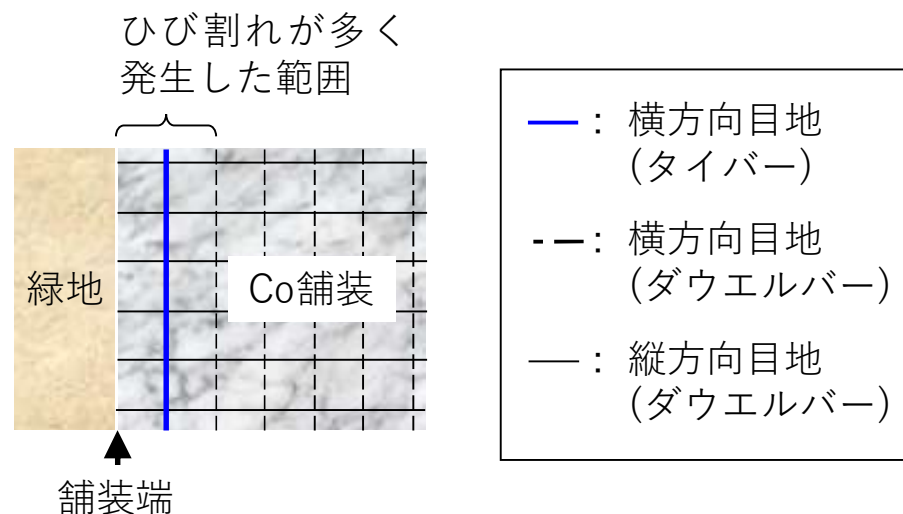


- ・スランプ2.5cmのコンクリートの単位セメント量は、360kg/m³前後
- ・スランプ6.5cmでは、2.5cmより単位水量を多くするため、セメント量も多くなる。

ひび割れ事例

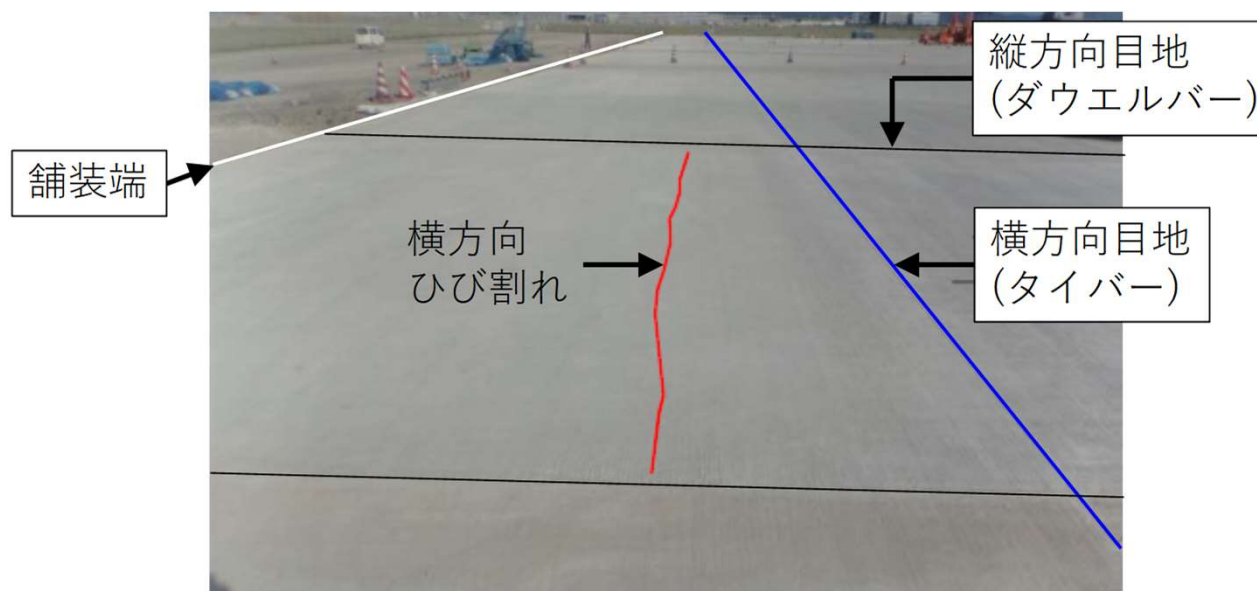
- ・ コンクリートの種類:
曲げ5.0-2.5-40BB
- ・ 水セメント比: 36.0%
→ **本調査で最小値**
- ・ 単位セメント量: 403kg/m³
→ **本調査で最大値**

ひび割れの平面範囲



ひび割れ状況

- ・ 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セメントより多い。
- ・ 配合設計では、収縮の観点で水セメント比とセメント量に留意する必要がある。



4.6 単位粗骨材かさ容積

配合計算書(抜粋)

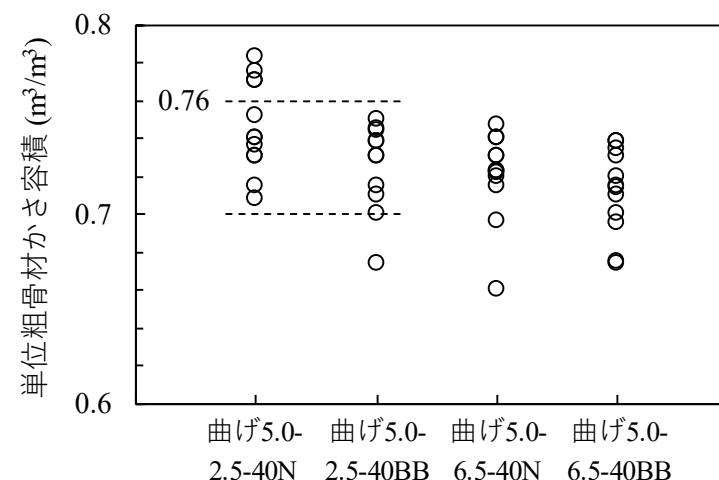
(7) 単位粗骨材量(G)	当工場の実績により	かさ容積 = $0.738 \text{ m}^3/\text{m}^3$	実積率 = 60.0 %
$G_{1v} = G_v \times 60.0 \% = 266 \text{ L/m}^3$		$G_v = 0.738 \times 1000 \times 60.0 \div 100 = 443 \text{ L/m}^3$	
$G_{2v} = G_v \times 40.0 \% = 177 \text{ L/m}^3$		$G_1 = G_{1v} \times \text{表乾密度} = 266 \times 2.86 = 761 \text{ kg/m}^3$	
		$G_2 = G_{2v} \times \text{表乾密度} = 177 \times 2.86 = 506 \text{ kg/m}^3$	
(8) 単位細骨材量(S)	$S_v = 1000 - (W + C_v + G_v + A) = 1000 - 745 = 255 \text{ L/m}^3$		
$S_{1v} = S_v \times 70.0 \% = 178 \text{ L/m}^3$		$S_1 = S_{1v} \times \text{表乾密度} = 178 \times 2.58 = 459 \text{ kg/m}^3$	
$S_{2v} = S_v \times 30.0 \% = 77 \text{ L/m}^3$		$S_2 = S_{2v} \times \text{表乾密度} = 77 \times 2.58 = 199 \text{ kg/m}^3$	
(9) 細骨材率(s/a)		$s/a = S_v \div (G_v + S_v) \times 100 = 36.5 \%$	

- 単位骨材量は、単位粗骨材かさ容積の実績値から算定

範囲と平均値

	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

分布



スランプ2.5cmのコンクリートの場合、道路の留意点として、 0.73 ± 0.03 が挙げられており、多くはその範囲

まとめ

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。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、中庸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2件と少なかった。
- (3) 設計曲げ強度に対する割増し係数の平均値は約1.2であり、配合曲げ強度としては6.0N/mm²前後であった。
- (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360kg/m³であった。