

舗装コンクリートの若材齢における強度管理の合理化

大成ロテック（株） 南関東支社 正会員 ○上堂 蘭 研太
 関東地方整備局 東京空港整備事務所 打越 光一

1. はじめに

コンクリート舗装の後期養生期間は、現場養生供試体の曲げ強度の確認による養生期間の設定、又は使用するセメントの種類に応じた標準的な養生期間による管理が示されている¹⁾。しかし、現場養生供試体はコンクリート版に比べて寸法が小さいため、初期の発熱や気温の影響によって養生温度履歴に差が生じる場合があり、供試体の強度からコンクリート版の強度発現を推定することは難しいとされている²⁾³⁾。一方で、既知のコンクリート構造物の強度推定方法に積算温度があるが、舗装コンクリートの分野での適用性については未だ検討例が少ない。そこで筆者らは供試体による積算温度と曲げ強度の回帰式を作成し、若材齢の曲げ強度推定への適用性を試行した。また、曲げ強度試験は圧縮強度試験に比べて重労働であることや若材齢の強度のバラつき等の課題があることから、同条件にて圧縮強度試験を行い、圧縮強度による強度推定の適用性も試行した。本報は、東京国際空港のエプロンコンクリート舗装工事において取得したこれらのデータを報告するものである。

2. 検討方法

2-1. 使用材料、試験条件

本工事は、従来より舗装コンクリートの出荷実績がある4工場から同時期にコンクリートを搬入する工事であることから、本報では4工場を同一配合として評価した(配合を表-1に示す)。また、表-2に示す試験条件および養生温度の測定条件にて、曲げ強度試験と圧縮強度試験の積算温度および強度を算出した。

2-2. 積算温度による強度推定の評価方法

積算温度はコンクリートの養生温度と養生期間の積で、式-1³⁾によって求められる。

$$M = \sum (\theta + 10) \Delta t \cdots \text{(式-1)}$$

ここで、M：積算温度(°C・日)、 θ ： Δt 時間中のコンクリート温度(°C)、 Δt ：養生期間(日)。

同一配合のコンクリートは、積算温度から強度を推定できることが示されている。本報では、積算温度と曲げ強度および圧縮強度で換算した推定曲げ強度の関係より回帰式を作成し、決定係数にて積算温度による強度推定の適用性を評価した。なお、推定曲げ強度は、「曲げ強度および圧縮強度の変動を考慮した舗装用コンクリートの圧縮による強度管理(B法)の推定式⁴⁾(以下、B法)」および「舗装設計施工指針の強度換算式⁵⁾(以下、道路協会式)」を用いて、2種類算出した。B法を式-2、道路協会式を式-3に示す。

$$f_{bmin} = \alpha \times f_c + \beta - f_d \cdots \text{(式-2)}$$

ここで、 f_{bmin} ：推定最小曲げ強度(MPa)、 f_c ：曲げ強度を推定するために求めた圧縮強度の平均値(MPa)、 f_d ：圧縮強度から曲げ強度を推定する際の不確かさを考慮した補正值=0.30(MPa)、 $\alpha \cdot \beta$ ：曲げ強度と圧縮強度の試験結果から得られた回帰式の係数($\alpha=0.1143$, $\beta=1.1664$)。

$$f_b = 0.42 \times f_c^{(2/3)} \cdots \text{(式-3)}$$

ここで、 f_b ：推定曲げ強度(MPa)、 f_c ：曲げ強度を推定するために求めた圧縮強度の平均値(MPa)。

キーワード 積算温度、舗装コンクリート、強度管理の合理化、圧縮強度、曲げ強度、若材齢

連絡先 〒135-0043 東京都江東区塩浜 2-7-20 大成ロテック(株) 南関東支社 TEL03-3640-1461

表-1 コンクリート配合

工場	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	配合表 (kg/m ³)						配合強度 (MPa)	設計基準強度 (MPa)	
			セメント	水	細骨材		粗骨材				混和剤
					①	②	①(2005)	②(4020)			
A工場	42.1	33.6	335	141	499	125	698	560	4.02	6.0	5.0
B工場	42.1	33.6	335	141	438	188	697	559	3.69		
C工場	42.0	33.4	333	140	634	-	691	557	3.00		
D工場	42.9	34.6	327	140	637	-	694	557	2.94		
備考(共通)			N	上水道水 上澄水	砂 (山砂)	砕砂 (石灰石)	石灰石	硬質 砂岩	AE減水剤 標準形	曲げ	曲げ

表-2 試験条件および養生温度測定条件

試験種別	試験条件			養生温度測定条件
	寸法 (cm)	試験数	材齢	
曲げ	15×15×53	4工場	設計基準強度以上	ダミー供試体中心部に熱電対式温度
圧縮	φ15×30	×4材齢	且、10日程度まで	記録計を設置し、1時間毎に測定

3. 検討結果および考察

3-1. 積算温度による強度管理の適用性

積算温度と3種の曲げ強度（試験値、B法による推定曲げ強度および道路協会式による推定曲げ強度）の回帰式を図-1に示す。図-1より、材齢1~10日（積算温度30~250（ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{日}$ ））の範囲において、回帰式の決定係数は全て0.9より大きく、B法>道路協会式>試験値の順となった。

また、3種の回帰式に関し、本工事の設計基準強度（=5MPa）および配合強度×70%（=4.2MPa）を満たす積算温度およびコンクリート版が必要とする後期養生期間（平均養生温度別）を表-3に示す。所要の強度を満たす積算温度および後期養生期間は、試験値に対してB法は約1.3倍、道路協会式は約1.5~1.8倍必要となることが判った。

3-2. 若材齢の圧縮強度と曲げ強度の関係

図-2に圧縮強度と曲げ強度の関係を示す。圧縮強度および曲げ強度の関係には、一般に線形回帰分析が適用され、式-2もこれに従っている。しかしながら、本事例では強度が低くなると両者の関係が変化しており、回帰式の決定係数は対数回帰>線形回帰となった。

4. まとめ

積算温度と3種の曲げ強度に関する回帰式を作成した結果、いずれも決定係数0.9以上の回帰式が得られた。また、圧縮強度を用いたB法および道路協会式による推定曲げ強度は、後期養生期間が試験値の曲げ強度に対して長期（安全側）になる回帰式が得られた。これらの結果は、積算温度が舗装コンクリートの若材齢における曲げ強度の推定に適用でき、圧縮強度試験によってコンクリート版の後期養生期間の管理ができる可能性を示唆している。また、1~10日程度の若材齢における圧縮強度と曲げ強度の回帰式の決定係数は、対数回帰式>線形回帰式となった。この結果は、若材齢の推定曲げ強度の算出においては、対数回帰式が有効である可能性を示唆している。

今後は、さらに舗装コンクリートの積算温度、圧縮強度および曲げ強度に関するデータを蓄積し、強度管理の合理化について取り組みたい。

5. 謝辞

本報文の執筆にあたり、ご協力頂いた関東地方整備局東京空港整備事務所およびデータを提供して頂いた東京工組および神奈川工組の4工場の皆様、ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (社)土木学会：2014年制定 舗装標準示方書，p236，丸善，2015
- 2) A.M.Neville：ネビルのコンクリートバイブル，p388，技報堂，2004
- 3) (社)土木学会：2017年制定 コンクリート標準示方書 [施工編]，p167，丸善，2018
- 4) (社)土木学会：コンクリート舗装の設計・施工・維持管理の最前線，p201，丸善，2017
- 5) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針（平成18年版），p270，丸善，2006

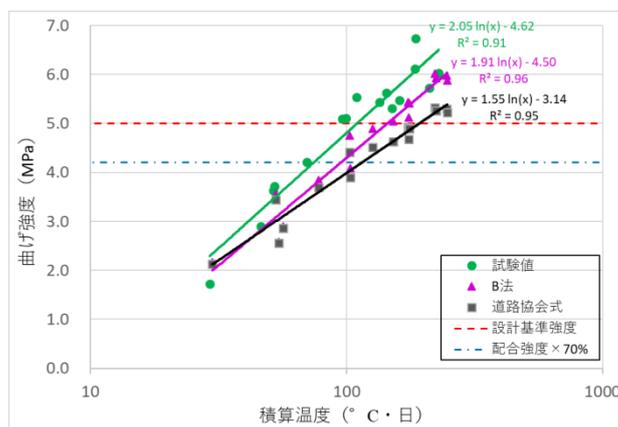


図-1 積算温度と曲げ強度の回帰式

表-3 所要の強度を満たす積算温度および平均養生温度別の必要な養生期間

目標の強度	必要な後期養生期間(日)					
	5 (Mpa)			4.2 (Mpa)		
コンクリート版の平均養生温度(°C)	試験値	B法	道路協会式	試験値	B法	道路協会式
10	5.5	7.2	9.6	3.7	4.8	5.7
15	4.4	5.8	7.7	3.0	3.8	4.6
20	3.7	4.8	6.4	2.5	3.2	3.8
25	3.1	4.1	5.5	2.1	2.7	3.3
30	2.8	3.6	4.8	1.9	2.4	2.9
強度を満たす積算温度(°C·日)	110	145	193	74	95	115

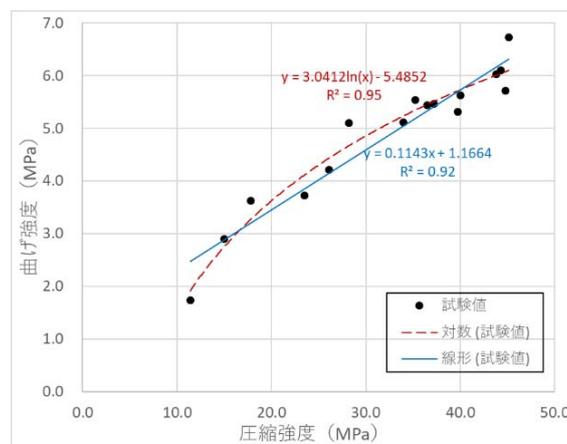


図-2 圧縮強度と曲げ強度の回帰式