

舗装コンクリートの強度比較実験Part2

大阪兵庫生コンクリート工業組合
技術委員会
コンクリート舗装の調査及び普及促進WG

1

1. 舗装WG これまでの活動実績

- 2010年7月 普及活動 NEXCO西日本
- 2011年2月 ワンデイコンクリート見学 宇治川堤防
- 2011年7月 コンクリートテクノプラザ技術紹介 JCI年次大会(大阪)
- 2011年8月 連続鉄筋コンクリート舗装見学 新東名
- 2012年7月 普及活動 NEXCO西日本
- 2013年3月 ポーラスコンクリート舗装見学 阪神高速
- 2013年10月～2014年2月 普及活動 大阪府・大阪市・兵庫県・神戸市
- 2013年12月～2014年1月 強度比較実験の実施Part1(全生工組連 実験協力)
- 2014年3月 1DAYPAVE 試験施工見学 神戸市 (株)サンコー構内
- 2014年4月 1DAYPAVE 試験施工見学 大阪市 住友大阪セメント(株) 研究所
- 2014年10月 1DAYPAVE 共催試験施工 赤穂市 住友大阪セメント(株) 赤穂工場

2

- 2015年1月 **強度比較実験Part2の実施**
・1DAYPAVE 試験研究開発事業 実施工 砕石工場内
- 2015年2月 1DAYPAVE 実施工 技術支援 淡路島 管渠布設工事
- 2015年4月 1DAYPAVE 実施工 技術支援 宝塚市 公共下水道(急勾配)
- 2015年7月 1DAYPAVE 実施工 技術支援 神戸市 コンテナクレーン改修工事
- 2015年9月
～10月 普及活動 大阪府・大阪市・守口市・兵庫県・神戸市・阪神国際港湾(株)
- 2015年10月 1DAYPAVE 実施工見学 守口市 バス停
- 2015年12月 普及活動 大阪府 都市整備部 事業管理室 技術管理課
- 2016年1月～3月 1DAYPAVE実験(シーズン I 冬期)
- 2016年3月 普及活動 大阪府「新技術・新工法」講習会で講演

2. 強度比較実験Part1のおさらい

表2-1 配合条件及び使用骨材

工場	W/C	スランプ	Gmax	セメント	細骨材	粗骨材
A	40	2.5	40	N	海砂	砕石1505
	40	6.5				砕石2010
	37					砕石4020
B	40	2.5	20	N	砕砂	砕石1505
	40	6.5				砕石2010
	37					石灰砕砂
C	38	2.5	40	BB	海砂	砕石1505
	38	6.5				砕石2010
	35					砕石4020
D	38	2.5	20	BB	砕砂	石灰1505
	38	6.5				石灰砕砂
	35					高炉スラグ
	32					石灰2010

- スランプ、空気量の目標値
 - ・スランプ: 2.5±1cm 6.5±1.5cm
 - ・空気量: 4.5±1.5%
- 曲げ4.5の標準配合の他に、W/Cを3%減、6%減とした配合を実施

表2-2 使用型枠

曲げ用型枠 □15×53・□10×40	圧縮・割裂引張用型枠 φ10×20・φ12.5×25
鋼製型枠	軽量型枠 (プラスチック製)

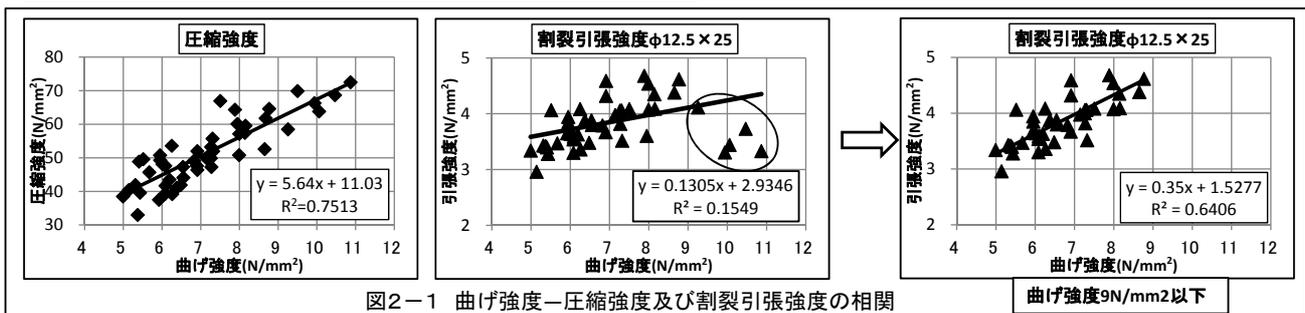


図2-1 曲げ強度—圧縮強度及び割裂引張強度の相関

- 曲げ強度と圧縮強度はこの実験の範囲において正の相関を示す。
- 曲げ強度と割裂引張強度の相関は弱い。ただし、曲げ強度の範囲を9N/mm²以下に限定すれば相関が見られる。

2. 強度比較実験Part1のおさらい

表2-3 各強度試験3本の供試体の変動係数

試験項目	変動係数の範囲	変動係数の平均値	
圧縮強度	φ10×20	0.1~6.3	2.3
	φ12.5×25	0.5~3.6	2.0
曲げ強度	□10×40	0.5~9.6	3.8
	□15×53	1.0~9.8	4.6
割裂引張強度	φ12.5×25	2.2~16.9	7.2
	φ12.5×18	1.3~20.2	7.0
	φ12.5×12.5	1.9~20.7	9.8

- 3本の供試体間のばらつきは、圧縮<曲げ<割裂引張となっている。
- 割裂引張強度は、3本の供試体間で強度のばらつきが大きい。
- 割裂引張強度で、供試体の高さ寸法の短い方が、ばらつきは大きい。

➤ 実験結果より得られた課題

- ① 割裂引張強度試験のばらつきは、曲げ強度試験のばらつきより大きい。
- ② 割裂引張強度試験で、W/Cが小さい場合、材齢7日⇒28日及び材齢28日⇒56日で強度低下することがある。
- ③ 曲げ強度が高くなると、割裂引張強度との相関が低くなる。

➤ 強度のばらつきや相関が低くなる要因

- ① 工場により、実験に使用した材料、特に骨材が各強度試験結果に影響していると考えられる。
- ② 割裂引張強度試験では、プラスチック製型枠が強度結果に何らかの影響を与えていると考えられる。

5

3. 実験概要

- 今回は、試験結果に影響を及ぼす要因をできるだけ省き、試験精度を上げるため、実験に使用する生コンクリートは、実機練りの1配合と、試験機関の試し練りによる2配合とした。
- 実験に使用する供試体用型枠は、全て鋼製型枠を使用した。
- 割裂引張強度は、φ10×20の他に、φ12.5cmの型枠を使用し、高さを12.5cmに調整した供試体(φ12.5×12.5)を作製した。また、5本の供試体を作製し、5個の平均値(N=5)と、上下の値をカットした3個の平均値(N=3)を求めることとした。
- 参考実験として、工場の工程管理と、現場の受入検査を想定した、試験場所による違いを確認する為、表3-2に示す※のみ、出荷時に供試体を作製し、工場の試験室で強度試験を実施した。

表3-1 配合条件

W/C(C/W) (%)	セメントの種類	Gmax (mm)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)
50.0 (2.0)	N・BB	20	6.5±1.5	4.5±1.5
40.0 (2.5)				
33.3 (3.0)				

表3-2 供試体の種類及び採取本数

項目 材齢	圧縮	曲げ		割裂引張	
	φ10×20※	□10×40※	□15×53	φ10×20※	φ12.5×12.5
7日	3	3	3	5	5
28日	3	3	3	5	5

6

3.1 実験配合

表3-3 使用材料

練り混ぜ	配合No1~3：生コン工場実機練り	配合No4~9：試験機関試し練り
セメント	普通ポルトランドセメント A社	普通ポルトランドセメント B社 高炉セメントB種 B社
水	上澄水	水道水
細骨材①	大分県津久見産 石灰砕砂	岐阜県揖斐川産 川砂
細骨材②	兵庫県家島産 砕砂	大阪府茨木産 砕砂
粗骨材	兵庫県家島産 碎石2005	兵庫県西島産 碎石2005
混和剤	AE減水剤標準形 I種 C社	AE減水剤標準形 I種 D社

表3-4 実験配合

配合No	セメント種類	W/C (%)	単位量 kg/m ³						
			セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤	AE助剤
1	N	50.0	324	162	212	481	1108	1.94	3A
2		40.0	420	168	183	416	1108	3.36	2A
3		33.3	526	175	151	346	1108	4.21	2A
4	N	50.0	328	164	538	233	1031	1.97	1.5A
5		40.0	420	168	489	212	1015	2.52	2.5A
6		33.3	526	175	458	199	952	5.26	4.0A
7	BB	50.0	328	164	536	233	1023	2.30	5.0A
8		40.0	420	168	484	212	1007	2.94	5.0A
9		33.3	526	175	411	178	1005	4.21	10.0A

3.2 試験結果

表3-5 フレッシュコンクリートの性状

配合No	スランプ (cm)	空気量 (%)	CT (°C)
1	5.5	3.6	12
2	6.0	5.1	13
3	6.5	5.0	15
4	7.0	4.3	20
5	6.5	5.0	21
6	7.0	4.5	21
7	6.5	4.6	20
8	6.5	4.2	21
9	6.0	4.3	21

- 今回の試験では、高炉セメントB種のAE助剤の添加率は、普通ポルトランドセメント配合の添加率より多く必要であった。
- 全ての試験で目標性状が得られた。

表3-6 強度試験結果

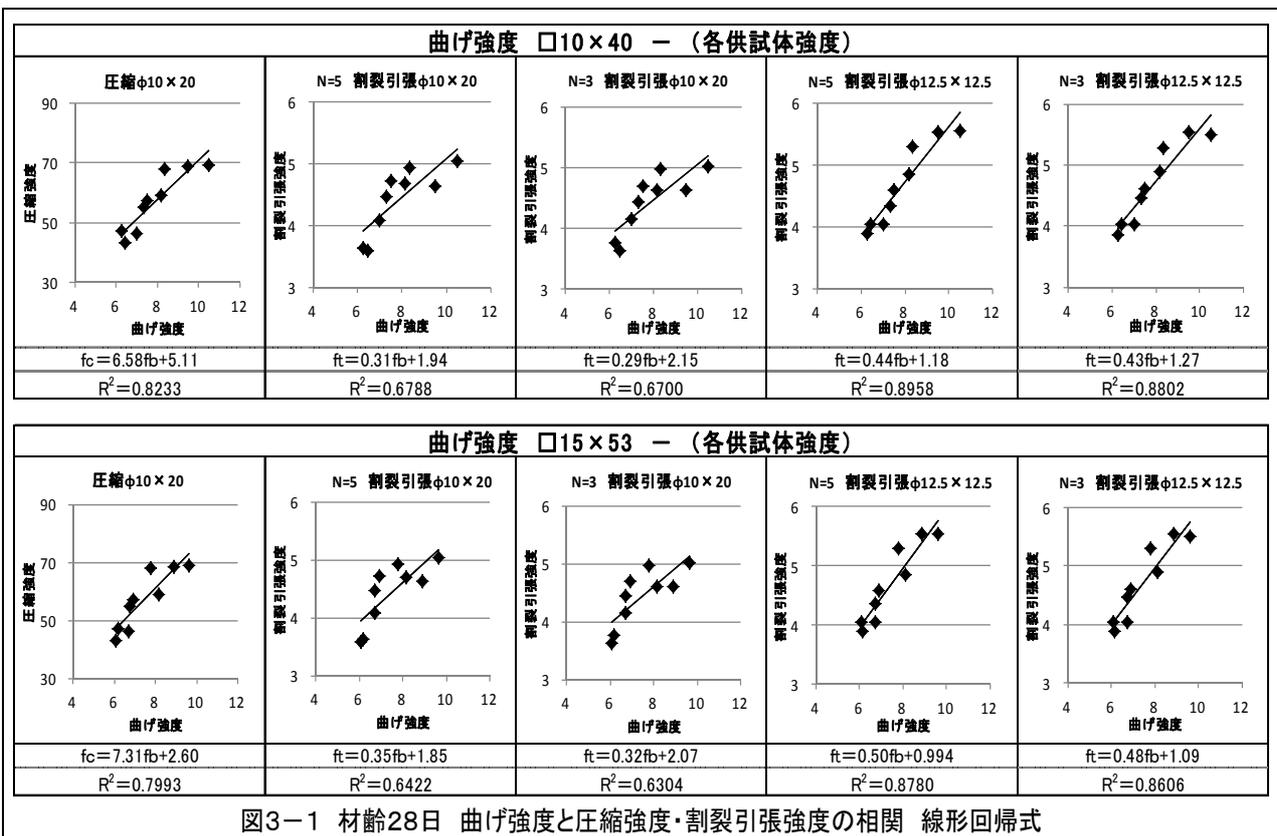
配合No	圧縮 φ10×20				曲げ □10×40				曲げ □15×53			
	7日	平均値	28日	平均値	7日	平均値	28日	平均値	7日	平均値	28日	平均値
1	34.4	34.6	43.0	43.1	6.05	5.76	6.36	6.46	5.00	4.84	6.16	6.08
	34.5											
	34.8											
	34.8											
2	45.0	45.5	54.3	54.9	6.40	6.29	6.94	7.32	5.16	5.35	6.80	6.74
	45.9											
	45.5											
	45.5											
3	55.5	56.4	67.6	68.0	6.47	6.30	8.66	8.34	5.36	5.49	7.80	7.79
	56.8											
	56.9											
	56.9											
4	39.1	39.7	45.8	47.1	5.47	5.71	6.59	6.26	5.41	5.46	6.05	6.17
	39.3											
	40.6											
	40.6											
5	48.4	49.0	59.5	57.1	6.84	7.00	7.90	7.52	6.75	6.54	6.98	6.92
	49.4											
	49.2											
	49.2											
6	58.2	58.6	70.2	68.6	8.96	8.52	9.99	9.46	7.81	7.70	8.79	8.89
	58.4											
	59.1											
	59.1											
7	26.9	27.7	44.9	46.3	5.17	4.94	7.67	7.01	4.58	4.60	7.17	6.71
	28.3											
	27.8											
	27.8											
8	38.5	38.4	58.6	59.2	6.79	6.30	7.80	8.16	5.84	5.84	8.10	8.14
	38.5											
	38.1											
	38.1											
9	45.7	46.3	66.7	69.2	7.80	7.81	11.00	10.50	7.53	7.54	9.28	9.63
	46.0											
	47.1											
	47.1											

3.2 試験結果

表3-7 割裂引張強度試験結果

配合No	割裂引張 φ10×20						割裂引張 φ12.5×12.5					
	7日	N=5 平均値		28日	N=3 平均値		7日	N=5 平均値		28日	N=3 平均値	
		差:(N=5)-(N=3)			差:(N=5)-(N=3)			差:(N=5)-(N=3)			差:(N=5)-(N=3)	
1	3.03	3.25	3.23	2.81	3.59	3.63	2.95	3.28	3.31	3.93	4.05	4.04
	3.03			3.52			3.18			3.97		
	3.23			3.60			3.36			4.07		
	3.44			3.78			3.40			4.09		
	3.54			4.25			3.51			4.17		
(差: 0.02)		(差: -0.04)		(差: -0.03)		(差: 0.01)						
2	3.44	3.85	3.93	4.32	4.47	4.44	3.61	3.81	3.84	3.61	4.35	4.47
	3.79			4.40			3.80			4.18		
	3.97			4.43			3.82			4.60		
	4.03			4.48			3.90			4.63		
	4.04			4.74			3.93			4.71		
(差: -0.08)		(差: 0.03)		(差: -0.03)		(差: -0.12)						
3	3.96	4.30	4.25	4.43	4.93	4.97	4.50	4.72	4.74	5.09	5.30	5.29
	4.07			4.89			4.64			5.24		
	4.33			4.98			4.78			5.27		
	4.35			5.04			4.81			5.37		
	4.79			5.29			4.86			5.52		
(差: 0.05)		(差: -0.04)		(差: -0.02)		(差: 0.01)						
4	3.20	3.45	3.46	2.96	3.64	3.76	2.85	3.23	3.22	3.71	3.90	3.87
	3.22			3.73			3.21			3.81		
	3.57			3.66			3.23			3.84		
	3.58			3.89			3.23			3.95		
	3.69			3.98			3.65			4.17		
(差: -0.01)		(差: -0.12)		(差: 0.01)		(差: 0.03)						
5	3.79	3.94	3.92	4.47	4.72	4.70	3.56	3.90	3.85	4.44	4.59	4.61
	3.83			4.54			3.64			4.57		
	3.87			4.71			3.86			4.60		
	4.05			4.86			4.04			4.65		
	4.14			5.02			4.38			4.68		
(差: 0.02)		(差: 0.02)		(差: 0.05)		(差: -0.02)						
6	3.89	4.52	4.54	4.23	4.64	4.62	4.71	4.94	4.84	5.48	5.54	5.54
	4.27			4.54			4.71			5.50		
	4.63			4.62			4.79			5.55		
	4.73			4.70			5.03			5.56		
	5.09			5.10			5.46			5.60		
(差: -0.02)		(差: 0.02)		(差: 0.10)		(差: 0.00)						
7	2.62	2.79	2.81	3.63	4.09	4.15	2.58	2.69	2.72	3.95	4.05	4.04
	2.72			4.00			2.69			4.00		
	2.85			4.18			2.73			4.01		
	2.86			4.28			2.73			4.10		
	2.90			4.34			2.73			4.19		
(差: -0.02)		(差: -0.06)		(差: -0.03)		(差: 0.01)						
8	3.30	3.48	3.47	4.55	4.69	4.62	3.22	3.39	3.39	4.55	4.86	4.90
	3.35			4.66			3.30			4.82		
	3.40			4.66			3.43			4.85		
	3.65			4.54			3.45			5.02		
	3.69			5.04			3.55			5.07		
(差: 0.01)		(差: 0.07)		(差: 0.00)		(差: -0.04)						
9	3.95	4.25	4.30	4.73	5.05	5.02	4.29	4.34	4.30	5.27	5.55	5.49
	4.24			4.77			4.29			5.43		
	4.28			4.96			4.31			5.45		
	4.38			5.32			4.31			5.60		
	4.39			5.45			4.50			5.98		
(差: -0.05)		(差: 0.03)		(差: 0.04)		(差: 0.06)						

3.3 強度比較



3.2 強度比較

表3-8 各強度試験結果の変動係数 (%)

試験項目		変動係数の範囲	変動係数の平均値
圧縮強度		φ10×20	0.6~3.8
曲げ強度		□10×40	0.3~8.6
		□15×53	0.5~7.5
割裂引張強度	N=5	φ10×20	3.6~14.5
		φ12.5×12.5	0.9~13.4
	N=3	φ10×20	0.9~6.3
		φ12.5×12.5	0.3~5.6

- 変動係数の範囲と平均値は、圧縮<割裂引張N=3<曲げ<割裂引張N=5となっている。
- 割裂引張のN=3の変動係数が小さくなったのは、N=5の上下の値をカットしたからである。

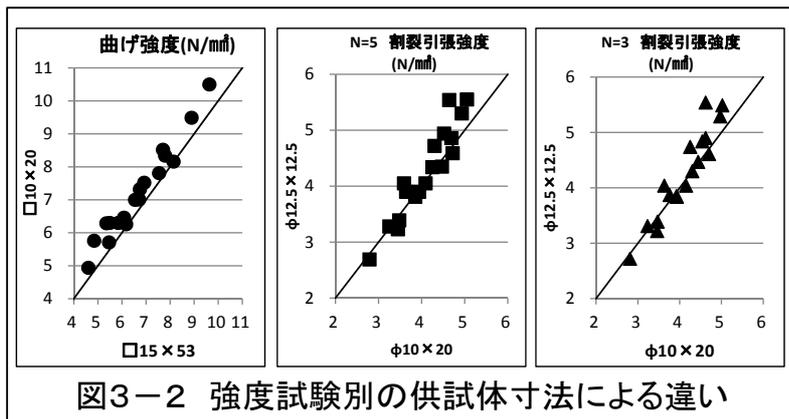


図3-2 強度試験別の供試体寸法による違い

- 曲げ強度及び割裂引張強度では、供試体寸法の違いによる、強度差は小さい。
- 若干ではあるが、曲げ強度は□10×20の方が高い。
- 割裂引張強度は、強度が高くなるとφ12.5×12.5の方が高くなる傾向がある。

3.3 強度比較

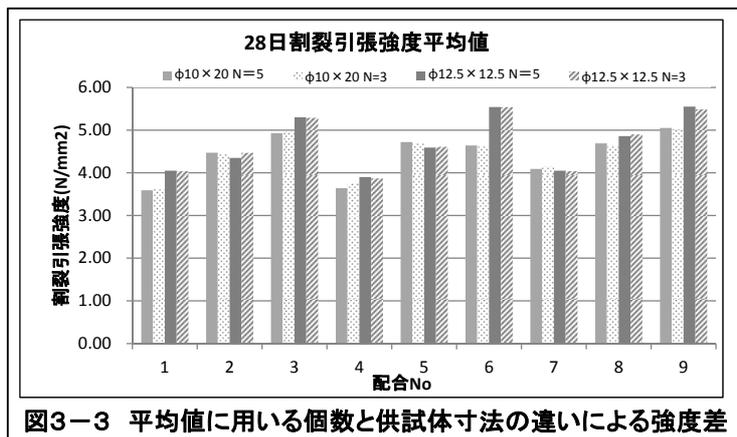


図3-3 平均値に用いる個数と供試体寸法の違いによる強度差

- N=5とN=3の平均値は、どちらかに偏る傾向はなく、ほぼ同等となった。これは、カットした値が上下にうまく開いた為とである。
- 割裂引張強度は、φ12.5×12.5の方が、φ10×20よりも大きくなる傾向である。

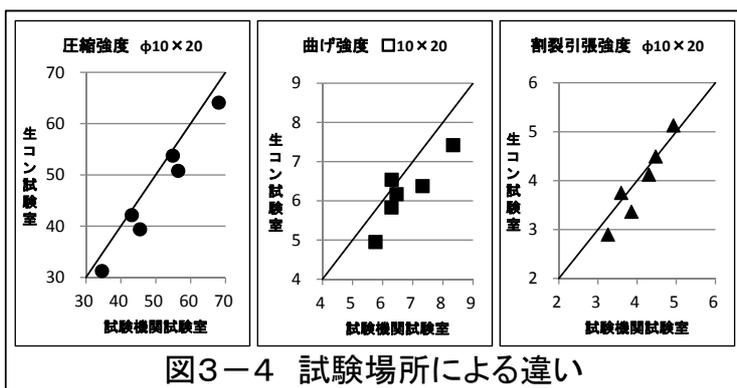


図3-4 試験場所による違い

- 試験場所による違いについては、大きな強度差は見られないが、何れの強度結果も、試験機関試験室の方が高い値を示している。

4. 検証

- Part1課題①(割裂引張強度のばらつき)
 - N=5では、供試体間のばらつきが大きくなった。
 - N=5の強度試験結果から、上下の値をカットしN=3にすることにより、ばらつきを小さくすることができた。
 - 上下の値をカットしたN=3では、圧縮強度や曲げ強度と同等のばらつきとなった。
- Part1課題②(強度低下)
 - 前回のような小さいW/Cを設定していないので、検証はできなかったが、今回の結果からは、材齢が進むのに対し強度が低下する現象は見られなかった。
- Part1課題③(曲げ強度9N/mm²以上の相関)
 - 今回の曲げ強度でも、9N/mm²以上の結果が見られたが、特に相関は低くならなかった。
 - 割裂引張のφ10×20はその他の供試体に比べると低い相関になっているが、これについては、曲げ強度の9N/mm²以上が関係しているとは考えにくい。
- Part1要因①
 - 圧縮強度又は割裂引張強度から、曲げ強度を推定する場合、多くの異なる材料の強度結果から関係式を導きだすよりも、試験精度を重視し、限定した材料で実験を行い、関係式を求め方が良い。
- Part1要因②
 - 割裂引張強度のばらつきは大きく改善されていないが、最大で20%近い変動係数が、N=5にも関わらず、最大でも15%以下となったのは、型枠も一つの要因でないか考える。

13

5. まとめ

- 省力化試験として、曲げ強度を推定する方法は、圧縮強度と割裂引張強度のφ12.5×12.5の相関が高くみられたので、推定試験への適用は可能と考える。
- 実験目的である、『試験結果に影響を及ぼす要因を省き、精度を上げる』については、おおむね達成できた。
- 今後は、ZKT-215「舗装コンクリートの圧縮強度から曲げ強度を算出するための関係式の求め方」の制定が予定されているので、前回と今回の実験で得られた結果を参考に検証したい。

14