

都市高速道路の本線に適用するポーラスコンクリートの配合検討

阪神高速道路株式会社建設事業本部大阪建設部 正会員 ○高田佳彦 中山栄作 佐々木一則
鹿島道路株式会社 正会員 鎌田 修 森 重和 世紀東急工業株式会社 正会員 鈴木 徹

1. はじめに

阪神高速道路淀川左岸線（1期）は大阪都市再生環状道路の一環であり、その約6割の約3.6kmは開削トンネルである。図-1に示すとおり、西行き・東行きともに、トンネル入口近傍の縦断勾配は5.0%であり、明かり部からトンネル内への雨水流入や走行車両による雨水の引き込みが予想されている。さらに、島屋側坑口からの進入後、R=157mの急カーブがS次で連続する島屋カーブがある。そこで、雨水の引き込みを抑制し、路面の滞水を排除し、スリップを防止するポーラスコンクリート(POC)舗装をトンネル坑口から最初のカーブまで採用している¹⁾。

POC舗装は、大型車が多い重交通路線で、10,000m²を超える大規模な施工は世界的にも初めてである。本路線で使用するPOC舗装は、車道用としての十分強度と耐久性に加えて、路面のすべり抵抗性も十分確保した性能が要求される。本稿では、POC舗装の配合検討結果について報告する。

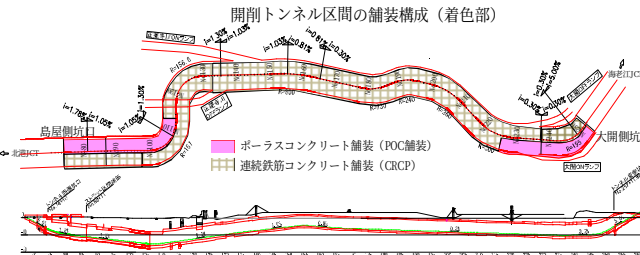


図-1 淀川左岸線トンネル区間の線形と舗装構成

2. 適用したPOC舗装の概要と配合検討項目

POC舗装の構造は薄層付着型とし、図-2に示すようにPOCと普通コンクリート(NC)の複合構造を採用した。なお、舗装厚の検討結果は4.で詳述する。POCの配合において、粗骨材の選定は、強度、滑り抵抗、骨材飛散、耐摩耗、乾燥収縮などに与える影響は極めて大きい。また、W/B（水バインダー比）は強度、乾燥収縮を含むひび割れなどに影響を与える。これらの詳細な配合検討を行い、強度、骨材飛散、滑り抵抗に優れ、乾燥収縮が小さく、骨材表面水の変動が小さく施工管理に優位であった、粗骨材は和歌山県産硬質砂岩、W/Bは25%を採用した¹⁾。

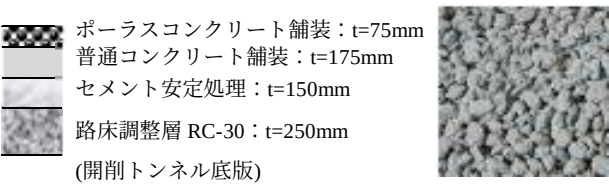


図-2 POC舗装の標準断面と表面の状態

3. 配合検討

(1)試験目的と検討配合

空隙率は、POCの排水能力や強度特性に大きく影響する。ポーラスコンクリート舗装、空隙率、開削トンネル、粗骨材、付着特性、連続先 〒552-0007 大阪市港区弁天 1-2-1-1900 阪神高速道路(株)大阪建設部 TEL06-6599-1744

を及ぼす。一般には空隙率が小さいと排水能力が低下するが、強度やすり減り抵抗は高くなる。そこで、文献 1)で検討した空隙率 17%に対して 15%を候補として、それらの配合を表-1 に、使用した粗骨材の性状を表-2 に示す。事前に VC 振動締固め試験により、締固め率は 95~100%に収まることを確認している。さらに、POC 舗装は NC 層との複合構造となっており、その接合面の強度や疲労耐久性は極めて重要であり、その検証を行った。

表-1 粗骨材の性状

材料名		6号砕石
岩種		硬質砂岩
産地		和歌山県橋本市
ふるい通過質量 (%)	19.0 mm	100.0
	13.2 mm	96.3
	4.75 mm	2.9
	2.36 mm	0.5
	600 μm	—
	300 μm	—
	150 μm	—
	75 μm	—
表乾密度 (g/cm ³)		2.68
吸水率 (%)		0.51
すり減り減量 (%)		11.5
粘土・粘土塊 (%)		0.04
軟石量 (%)		1.8
実積率 (%)		56.9
アルカリシリカ反応		無害

表-2 POC の配合

配合No.	空隙率 (%)	W/B (%)	Vs/Vm (%)	Vm/Vg (%)	単位量(kg/m ³)					
					W	C	P	S1	S2	G
1	17.0	25.0	26.0	52.0	92	348	20	79	116	1463
2	15.0		27.0	56.5	98	372	20	89	130	1456

(2)曲げ試験および定水位透水試験

曲げ試験は、JIS A 1106 に準拠し 4.5N/mm² 以上を要求値とした。定水位透水試験は JCI-SP03-1 ポーラスコンクリートの透水試験方法²⁾に準拠し、透水係数 0.01cm/s 以上を要求した。曲げ強度は、No1 が 5.02N/mm²、No2 が 5.86N/mm²で空隙率 15%の方が高強度であった。同様に透水係数は、No1 は 0.240cm/s、No2 は 0.132cm/s と空隙率が小さいと透水係数は低下するが、要求値に対して十分な余裕があった。

(3)付着特性試験と水浸引張疲労試験

付着部の強度特性を確認するため、付着材を介した NC 層と POC 層との複合体について直接引張試験で引張強度を、せん断試験でせん断強度を求めた。

直接引張試験の概要図を図-3 に示す。供試体は、300×300mm の型枠に NC 層を構築し、その上に、付着材を塗布して t=50 mm の POC を打ち継ぎ、母材破壊を防ぐためその厚さを 25mm に整形した。

せん断試験の概要図を図-4 に示す。供試体は直接引張試験と同様に作製し、POC 厚は 50mm のまま試験を実施する。試験結果は、表-3 に示す。要求性能を明記しており、これを満足している。

次に、付着構造の疲労耐久性の確認を目的に水浸引張疲労試験を実施した。その状況を写真-1 に示す。

付着面を水浸状態とし、応力制御で 10Hz の正弦波载荷を与え、200 万回まで载荷する。供試体寸法は直接引張試験と同様とする。予め解析で算出した最大作用引張応力は 0.30N/mm^2 程度で、その 2 倍の 0.60N/mm^2 を繰返し応力とした。試験結果は、いずれも 200 万回载荷で破壊しなかった。

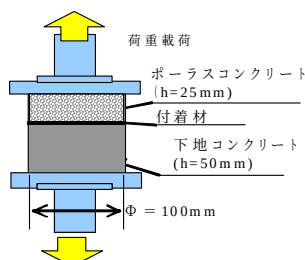


図-3 直接引張試験の概念図

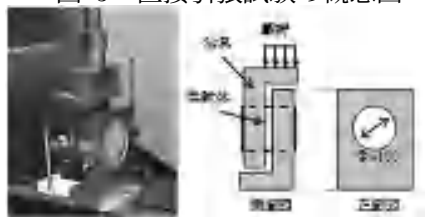


図-4 セン断試験の概要図

表-3 直接引張試験とセン断試験の結果

配合No	直接引張試験				セン断試験			
	引張強度 (N/mm ²)	平均引張強度 (N/mm ²)	破壊モード	要求性能	セン断強度 (N/mm ²)	平均セン断強度 (N/mm ²)	要求性能	
1 (空隙率17%)	1.87	1.85	付着面	1.0N/mm ² 以上	2.46	4.59	引張強度以上	
	1.12				5.67			
	2.57				5.63			
2 (空隙率15%)	1.73	1.79	付着面	1.0N/mm ² 以上	4.59	5.55	引張強度以上	
	1.7				5.84			
	1.95		NC層		6.23			



写真-1 水浸引張疲労試験の実施状況

(4) すり磨き骨材を用いた POC のすべり抵抗性試験

供用後の骨材がすり磨かれた状態における、すべり抵抗の検証を行った。ポットミルで粗骨材をすり磨き、この骨材で POC 平板を作製し表面のモルタルを除去し、養生後 DF テスタおよび BPN によりすべり抵抗を測定した。その際配合は、表-2 に対して V_m/V_g (粗骨材量) を変化させ、 V_s/V_m は一定で空隙率が 17% と 15% となるように調整した。

試験結果を表-4 に示す。DF テスタの動摩擦係数および BPN 値とも、配合の違いによる差は見られなかった。BPN は、何れも 60 以上の結果が得られた。

表-4 すり磨き骨材の POC すべり抵抗試験の結果

配合No	DFテスター (μ値)		BPN試験
	60km/h	80km/h	
1 (空隙率17%)	0.38	0.43	65
2 (空隙率15%)	0.36	0.41	64

(5) 空隙率検討結果

空隙率 15% の POC は、17% より強度が高く、排水性能も遜色なく、付着部の引張強度や疲労耐久性も満足していることから、この配合を採用した。

4. POC 層の最適厚さの検討

POC 舗装の POC 層の厚さは、これまでの 50~100 mm の実績があるが、その算出根拠は明確にされていない。POC 舗装は POC 層と NC 層を接合部で一体化している。接合部には、温度応力と乾燥収縮によって発生する引張応力および輪荷重によるせん断応力が作用し、それらに対し接合材の付着強度で抵抗する。POC 層が薄いほど接合部の引張の発生応力が高くなる。そこで、最適な POC 層厚さを算出するため、線形弾性 FEM 解析³⁾で POC の厚さを変化させ、その時の作用応力の影響を検討した。解析における POC 舗装の厚さは 50 mm, 70 mm, 75 mm, 80 mm, 100 mm の 5 パターンとした。

FEM 解析結果より、せん断応力より引張応力が許容値に対して厳しいので引張応力に着目し、接合部に発生する引張応力の分布を図-5 に示す。接合部の引張強度は、付着強度の 1.0N/mm^2 に対して安全率 3 を考慮し許容値を 0.33N/mm^2 とした。同図より、許容値を満足する POC 層の厚さは 75 mm 以上であるため、同値を採用した (NC 層; 175 mm)。

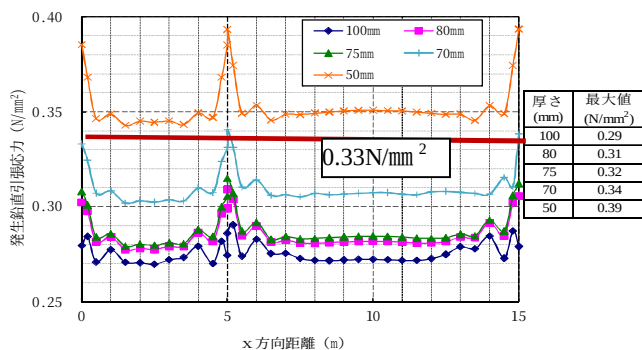


図-5 接合部における車線方向の引張応力分布

5. おわりに

この検討結果を踏まえ、空隙率15%、POC層75mmで POC 舗装の施工を平成25年3月に行なった。急カーブで横断勾配の厳しい複雑な線形での施工となったが、品質管理に最新の注意を払い無事に完了した。施工については、別途報告する。今後の POC 舗装の水平展開に期待したい。

本研究の実施にあたり、阪神高速道路舗装技術委員会委員長である神戸大学吉田准教授はじめ委員の方々に多大な助言を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1) 中山栄作・高田佳彦・鈴木 威・森 重和・鎌田修、高速道路本線上におけるポラスコンクリート舗装の室内試験による配合検討、土木学会論文集E1, Vol.68, No.3_147-I_154, 2012.12.pp1.147-I.154 2) 日本コンクリート工学会; JCI 基準集 (1977~2002年度版), 2004 3) 西澤辰男, 3次元FEMに基づいたコンクリート舗装構造解析パッケージの開発, 舗装工学論文集, 土木学会舗装工学論文集第5巻 2000年12月, pp112-121