

車両などの火災によるコンクリートの火害と劣化診断

日本コンクリート技術(株) ○本田 陵二
 早稲田大学 清宮 理
 日本コンクリート技術(株) 篠田 佳男
 (株)エーアンドエーマテリアル 安本 辰也

1. はじめに

トンネルの耐火対策は、セグメントに PP 繊維を混入するタイプが主流となってきた。将来火害を受けた場合において、早期復旧のために早急に診断し、構造物の性能を把握する必要がある。

そのため、火害を受けたコンクリート部材の現場での早急の判断と絡んだ診断手法の整備と基礎情報の収集を目的として、超音波法による弾性波速度試験と孔内載荷試験を行った。

2. 試験方法

2.1 対象試験体

対象とする試験体の要因は、表-1 に示す。普通コンクリートと高強度コンクリートの2水準と、PP 繊維の混入の有無の2水準である。試験体のコンクリートの配合を表-2 に示してある。設計基準強度(材齢14日、蒸気養生)は、高強度コンクリートで 48N/mm^2 、普通コンクリートで 20N/mm^2 とした。セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材および粗骨材は硬質砂岩の砕砂および砕石、PP 繊維は繊維度 17dtex、長さ 20mm のものを用いた。

試験体寸法は、図-1 に示すように $600 \times 1300 \times 200\text{mm}$ で、荷重を載荷しない状態で片面のみ加熱し、室内で加熱後 13 ヶ月経過している。加熱曲線は、タンクローリー車など危険物積載車両による大規模火災を想定し、ドイツの基準である RABT 曲線 (1200°C) を用いた。

表-1 試験体の要因

試験体名称	コンクリート	PP 繊維
高-PP	高強度 コンクリート	有
高-NP		無
普-PP	普通 コンクリート	有
普-NP		無

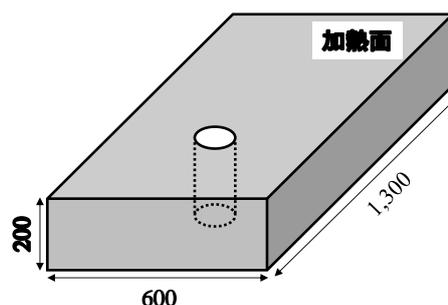


図-1 試験体寸法

表-2 コンクリートの配合

種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	スラ ンプ (cm)	空気 量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単体量 (kg/m ³)					
						水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤	PP 繊維
高強度コン クリート	20	8.0 ± 2.5	2.0 ±1.0	35.5	43.0	150	423	789	1052	4.23	0.0
普通コン クリート				49.4		153	310	805	1071	1.55	0.0
											2.0

2. 3 対象試験体の火害状況¹⁾

耐火試験時の最高温度を表-3 に示している。PP 繊維を混入した高-PP、普-PP の加熱面からの距離 20mm で約 700℃、50mm で約 400℃となった。加熱後の表面に爆裂は生じていない。高-NP は加熱面全体に爆裂が生じ、爆裂深さは最大で 30mm である。その影響で最高温度も加熱面からの各距離で大きくなっている。普-NP においても小範囲の爆裂が生じ、爆裂深さの最大は 4mm である。

2. 2 試験概要

(1) 超音波法

弾性波速度は試験体からコアを取り出し、コア供試体に超音波法 (ASTM C 597) を適用して測定した。測定方法と測定位置を図-2 に示している。円柱供試体に対して互いに直行する 2 方向について行い、その平均値をその位置における弾性波速度とした。また、深さ方向の測定は加熱面から 100mm までの間を 5mm 間隔、100mm から 190mm までを 10mm 間隔で行った。

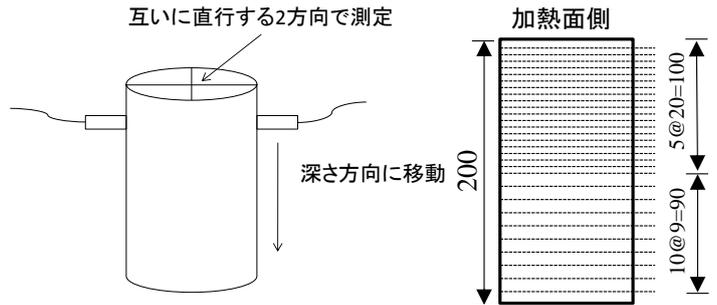
(2) 孔内载荷試験

孔内载荷試験はφ100mm のコア孔に写真-1 に示す試験装置を入れ、加圧して载荷先端を貫入した。測定は、図-3 に示すようにコア孔の同一深度において方位を変え、1 深度当たり 4 点以上行った。

貫入抵抗値は、図-4 に示す貫入量と荷重の曲線の傾きとした。

表-3 加熱面からの距離と最高温度

試験体	加熱面からの距離		
	20mm	50mm	100mm
高-PP	約 700℃	約 400℃	約 200℃
高-NP	約 1200℃	約 600℃	約 300℃
普-PP	約 700℃	約 400℃	約 200℃
普-NP	約 800℃	約 500℃	約 250℃



(a) 測定方法 (b) 測定位置

図-2 弾性波速度測定位置



写真-1 孔内载荷試験装置

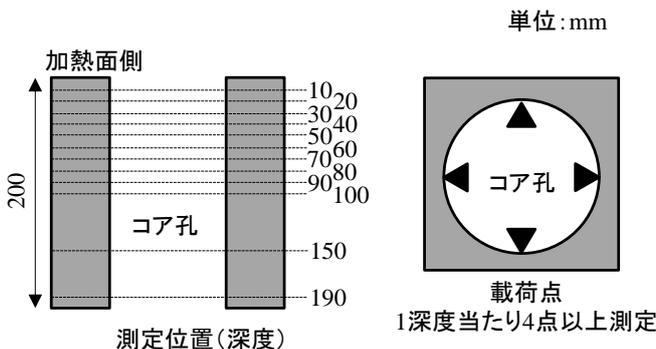


図-3 孔内载荷試験測定位置

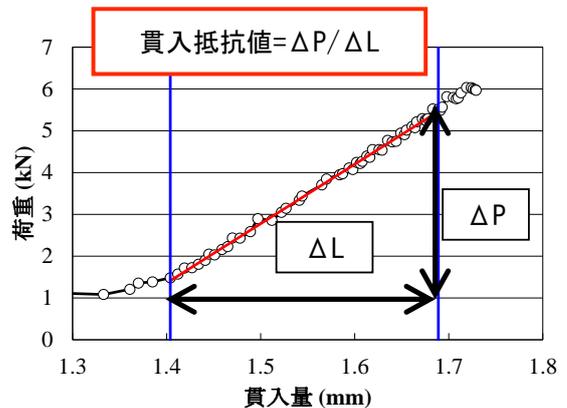


図-4 貫入抵抗値の求め方

3. 試験結果

表-4 超音波法試験結果

3.1 超音波法

超音波法試験結果を表-4 に示している。弾性波速度を 500m/s ごとに色分けした。比較用に、同一配合で耐火被覆板を貼付けた試験体の耐火試験 1 ヶ月後に計測した値を載せている。この耐火被覆板の試験体は、耐火試験時において、加熱面からの距離 20mm で約 160℃、距離 100mm で約 100℃である¹⁾。健全時の弾性波速度は、耐火被覆板の試験体の加熱面が 100mm 以上の計測値から、高強度コンクリート 4200～4500m/s、普通コンクリート 4100～4300m/s と判断した。

弾性波速度は、加熱面からの距離 5mm の位置で健全時の約 60%、190mm で約 90%となっている。高-PP の弾性波速度は、加熱面からの距離 70mm 以上で緑色、高-NP は 160mm 以上で緑色となっており、高-NP は爆裂によって内部まで弾性波速度が小さい。

このように、大規模火災を想定した加熱温度を受けると、PP 繊維を混入しても弾性波速度は小さくなる。これは、透水係数や拡散係数等の性能が低下したことを示唆する。

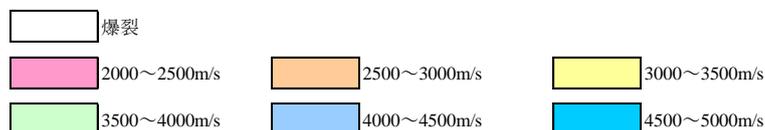
3.2 孔内載荷試験

孔内載荷試験結果を図-5 に示している。比較用に弾性波速度をプロットした。貫入抵抗値は、加熱面からの距離が長くなると値が振動しながら増大し、70～80mm がピークとなっている。加熱面からの距離 80～190mm の値は普-PP を除きほぼ同程度である。繊維混入の有無を比較すると、貫入抵抗値は、加熱面からの距離 70mm まで繊維有が小さな値となった。全体的に見ると普通コンクリート、高強度コンクリートの違いによる傾向は見られない。

孔内載荷試験の計測値のバラつきが大きいいため値が振動しているものの、火害による劣化が大きい加熱面からの距離 70～80mm までは、貫入抵抗値と弾性波速度の傾向はほぼ同じである。

φ100mm のコアを採取する場合は、孔内載荷試験より超音波法が詳細に診断できる。シールドトンネルのセグメントはコストを削減するため高強度、部材厚の低減化が行われている。そのためシールドトンネルでは、コアを採取するより、φ42mm の小径で構造物の損傷を小さく実施できる孔内載荷試験による診断が適している。本試験の結果から火害の深さ方向の劣化に対して早急な診断方法として概ね評価できることがわかった。

弾性波速度 (m/s)	対象試験体				耐火被覆板	
	高-PP	高-NP	普-PP	普-NP	高-NP	普-NP
5	2538		2710	2696	3797	3876
10	2562		2703	2674	3884	3931
15	2548		2671	2636	3951	4008
20	2257	2732	2751	2575	4293	3992
25	2345	2720	2732	2558	4348	3976
30	2414	2718	2726	2696	4398	4049
35	2686	2575	2815	2710	4455	4073
40	2773	2501	2884	2714	4466	4124
45	2793	2612	2959	2740	4479	4075
50	2742	2608	3016	2866	4538	4067
55	2922	2703	3166	2908	4526	4292
60	3129	2714	3195	2868	4438	4292
65	3326	2788	3158	2864	4386	4193
70	3566	2803	3113	3007	4377	4367
75	3644	2718	3135	3033	4445	4176
80	3766	2699	3160	3087	4265	4228
85	3862	2639	3271	3097	4357	4158
90	3884	2733	3283	3115	4159	4202
95	3923	2789	3298	3143	4211	4193
100	3925	2837	3290	3187	4133	4219
110	3984	2909	3470	3176	4253	4176
120	3961	2918	3528	3253	4297	4141
130	3884	2978	3442	3257	4459	4176
140	3848	3413	3444	3452	4389	4194
150	3840	3458	3334	3566	4238	4221
160	3817	3725	3378	3700	4185	4178
170	3931	3825	3486	3557	4275	4185
180	3968	3825	3617	3559	4292	4211
190	3877	3774	3724	3574	4193	4211



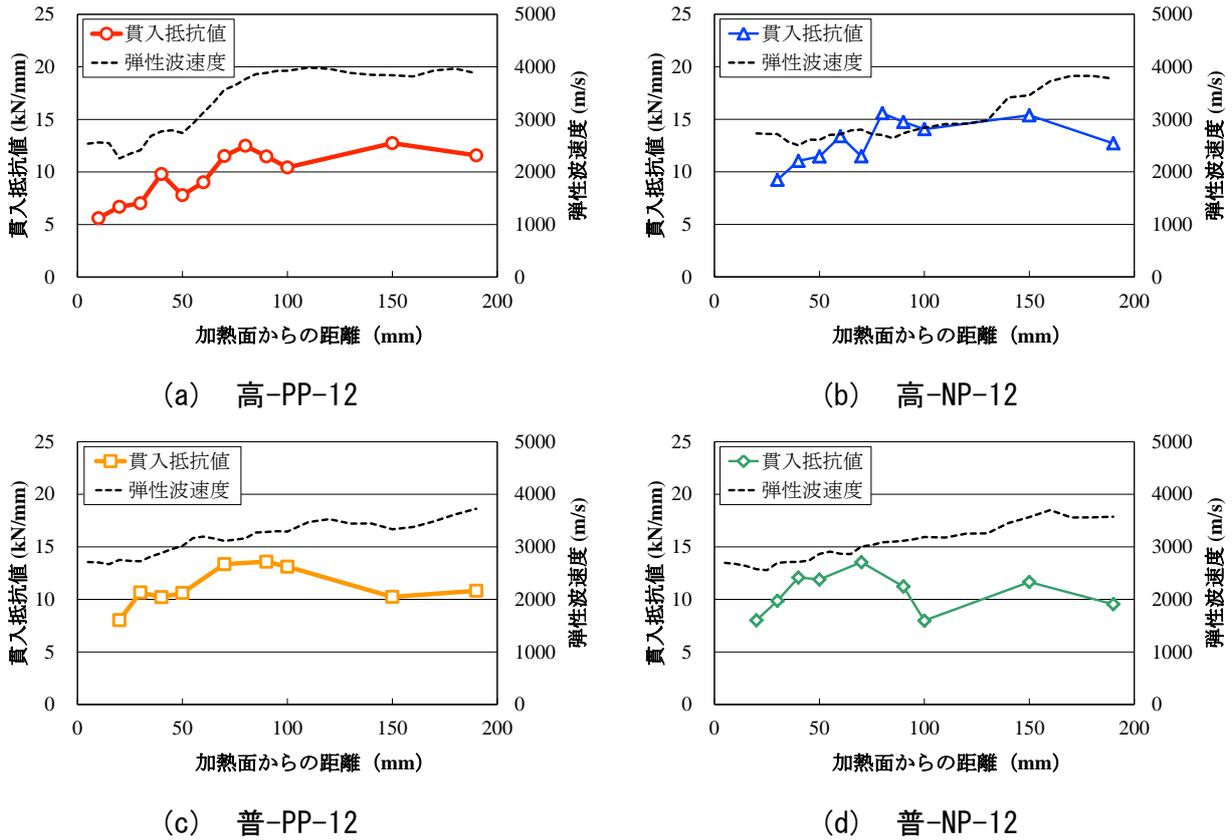


図-5 孔内載荷試験結果

推定強度を図-6 に示している。推定強度は貫入抵抗値の4倍とした²⁾。普通コンクリートの推定強度は、最大で約 53N/mm²、設計基準強度 20N/mm²の2倍以上と大きい結果となった。貫入抵抗値から強度を推定するため、さらなるデータの蓄積が必要と考えられる。

4. まとめ

本実験で得られた結果を以下に示す。

(1) 大規模火災を想定した、加熱温度を受けると、PP 繊維を混入しても弾性波速度は小さくなった。これは、透水係数や拡散係数等の性能が低下したことを示唆する。

(2) 孔内載荷試験は、φ42mm の小径で構造物の損傷を小さく実施できる。火害の深さ方向の劣化に対して早急な診断方法として概ね評価できることがわかった。

5. 謝辞

本論文を執筆するにあたり、協力していただいたエーアンドエーマテリアル(株)の丸山様、川崎地質(株)の皿井様に心より御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 安本辰也, 清宮理, 丸山諭, 三宅雅之: トンネル内車両火災によるコンクリート板の損傷に関する耐火試験, 土木学会第 67 回年次学術講演会, V-180, pp.359-360, 2012
- 2) JCI: コンクリートの高温特性とコンクリート構造物の耐荷性能に関する研究委員会, pp.303-304, 2012

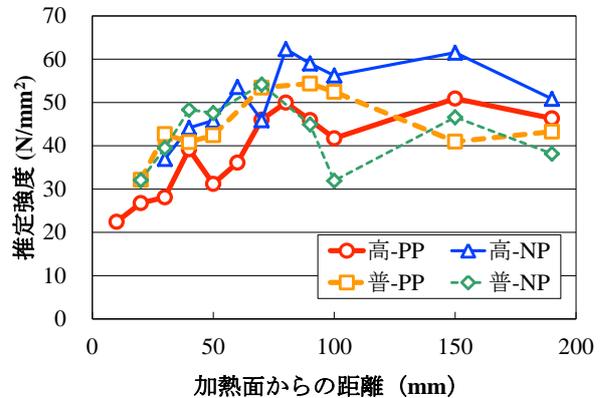


図-6 推定強度