

論文 小口径研磨ドリルによる粗骨材を考慮したコンクリートの強度推定

井上 文宏*1・寺田 百恵*2・佐藤 智*3・渡瀬 博*4

要旨：橋梁床板等のコンクリート部材の強度を実現場で簡易に推定するため、小口径研磨ドリルを開発し、その穿孔速度の変化からコンクリート圧縮強度を推定する方法を提案した。口径5mmのドリルによる穿孔では、コンクリート内部に混在する粗骨材など影響を受け、穿孔速度が変化する。そこで、穿孔速度の解析から粗骨材による穿孔速度を見出し、粗骨材の影響を除いた平均穿孔速度とコンクリート強度の関係を見出した。平均穿孔速度は圧縮強度に対して右下がりの直線となり、平均穿孔速度から圧縮強度を推定できる見込みを得た。この結果より、実現場での計測行うとほぼ近似する圧縮強度であることが推定できた。

キーワード：小口径研磨ドリル, コンクリート圧縮強度, 強度推定, 粗骨材, 内視鏡観察

1. はじめに

戦後の高度成長時代に都市部を中心とした建設された各種の土木インフラ（橋梁、トンネル、高速道路など）の多くは寿命を迎え始め、大規模な修繕やリニューアル、建て替えが必要な時期となっている。特にコンクリート構造物は経年劣化に加え、塩害や中性化などの影響によりその強度が著しく低下するケースもあり、早急な対応が迫られている。

このような修繕が必要なコンクリート構造物に対しては、まず劣化の度合いを客観的に判断できるコンクリート強度の推定が不可欠と考えられる。従来、既存のコンクリート構造物のコンクリート強度を推定する方法には、打診計測、超音波や電磁波による特徴抽出、X線透過撮影、コアボーリングによる材料の破壊試験、が実施されている。打診計測や超音波、電磁波では深部での特徴を捉えることは難しいこと、X線透過法では1m程度の厚さが限界であるようである。コアボーリングは直接内部の状況を把握できるが、装置が大型化して多くの時間や経費も掛かるため、実際の現場では簡易に計測することは難しい状況にある。軽量かつ簡易な装置によりコンクリート強度を推定する方法が求められている。

これまで著者らは、小口径研磨ドリル（以下、研磨ドリルと呼ぶ）を利用した穴の穿孔速度と穿孔機の押付け力の関係からコンクリートの圧縮強度（以下、コンクリート強度という）を推定する方法を考案した¹⁾。空気圧あるいはトルクモータでドリル穿孔部を制御することで、コンクリートの穿孔速度は一定となり、また穿孔速度がコンクリート強度によって異なることから、穿孔速度を計測することでコンクリート強度を推定した²⁾。開発した機械では、1回の計測では最大穿孔深さ約200mmが可能であるが、50～100mm程度の穿孔でも時間と穿孔深さ

との勾配から穿孔速度を計算できるため、比較的浅い穿孔でもコンクリート強度を推定できる。したがって橋梁や港湾、ダムなど、実現場での簡易な計測手法としては適していると考えられる。

近年、ロボット技術や情報化技術の発展に伴い、コンクリート構造物の劣化状態を壁面移動ロボットやドローンなどを活用して自動で検査する例も報告されている。壁面の画像撮影や簡易打音検査などが主な作業であるが、ロボットの反力が大きく取れる場合には、上記で開発した研磨ドリルを搭載することでコンクリート強度の推定も可能となる。他方、検査ドリルの反力を小さく抑えられれば、現状の検査装置に搭載することも可能である。

本研究では、従来開発した研磨ドリルを改良し、小口径5mmの穿孔によるコンクリート強度の推定を試みた。ドリル口径が小さいため、穿孔による反力が小さくなる点も考慮した。実験では、強度の異なる試験体を用いて穿孔による強度推定を実施したが、口径が小さくなるとコンクリート内部にある粗骨材を直接穿孔することになり、本来の穿孔による強度推定（平均穿孔速度とコンクリート強度との関係）とは異なる結果となった。このため、穿孔の局所穿孔速度に着目し、粗骨材の影響をできるだけ取り除いた強度推定法を考案した。

2. 小口径研磨ドリルと試験体の概要

2.1 実験装置

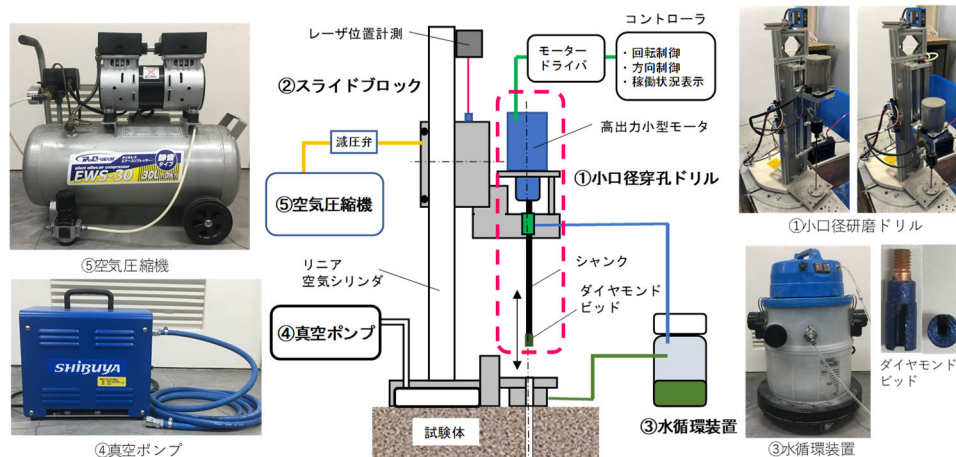
実験に使用した研磨ドリルの概要を図—1に示す。本システムは、①小口径穿孔ドリル、②スライドブロック（送り装置）、③水循環装置、④真空ポンプ、⑤空気圧縮機から構成される。各装置の仕様を表—1に示す。小口径研磨ドリルは、先端にダイヤモンドビットを取り付けた研磨ドリルであり、高速回転でモルタル面を研磨

*1 湘南工科大学 工学部機械工学科教授 工博（正会員）

*2 湘南工科大学大学院 工学研究科（学生員）

*3 (株)ティ・エス・プランニング 社長（正会員）

*4 オリエンタル白石 技術研究所 所長 工博（正会員）



図—1 実験に使用した穿孔装置の概要

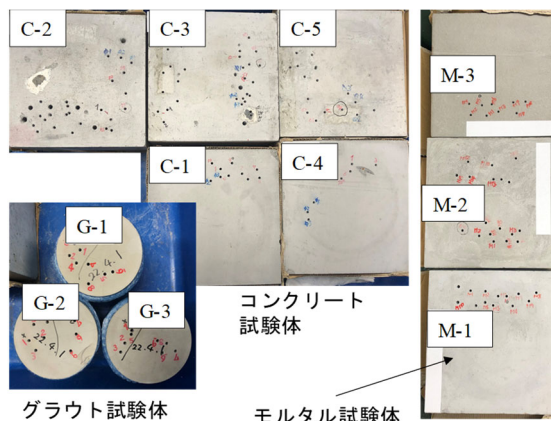
しながら、穿孔を行う。研磨ドリルはスライドブロックに固定され、空気圧シリンダに沿って上下に移動する。ベース部は真空ポンプを用いて内部を負圧にすることで、試験体とベースを真空密着させて固定することができる。穿孔時には水循環装置を用いることで、ビットの冷却と潤滑、穿孔したノロ水の排出を行う。また、水循環装置の内部ではフィルターを介して濾過水をドリル内に送り込むことができ、穿孔性能を維持させている。研磨ドリルの本体は空気圧縮機から減圧弁を介した空気圧で上下移動でき、穿孔時にはドリルの押付け力(一定)となる。ドリルの先端はダイヤモンドビットからなり、コンクリートを研磨しながら穿孔する方式である。比較的ビット径の大きい研磨ビットを使用した実験では、穿孔深さは、穿孔時間に対してほぼ比例し、穿孔速度はドリルの押し付け力や回転数などの条件が等しければ、ほぼ一定となる結果を得ている。

2.2 試験体の基本配合と圧縮強度

実験では開発した穿孔装置の性能を博するため、強度の異なるコンクリート試験体(5種類;縦300mm×横300mm×高さ200mm)、粗骨材が全く含まれないモルタル試験体(3種類;縦300mm×横300mm×高さ200mm)およびグラウト試験体(3種類:直径150mm×高さ200mm)を製作した。なお、各試験体は穿孔実験用と圧縮試験用として3本製作した。図—2に試験体の外観を示す。試験面は穿孔装置が十分に付着できるフラット仕上げとした。表面にある無数の小孔が直径5mmの研磨ドリルで穿孔した結果である。表—2、表—3、表—4に各試験体の基本配合と実験実施に合わせて計測した圧縮強度の値を示す。試験体の圧縮強度は、穿孔実験に合わせて、別途作成したテストピースを圧縮試験機で破壊し、その計測から強度推定を実施した。テストピースの仕様を表—5に示す。実験条件として、ドリルの回転数、押し付け力等を変化させて実験を行い、全試験体で基準の穿孔深さまで穿孔できる条件(回転数:3000rpm,ドリルの押し付け圧:0.3MPa)で統一し、その結果を評価した。

表—1 実験に使用した穿孔装置の各仕様

①小口径穿孔ドリル	(1) 高出力小型モータ ・最高回転数: 8,000 rpm, ・電流: 10 A ・出力: 1 kW, ・重量: 0.8 kg (2) シャンク軸 ・長さ: 200 mm, ・軸径: 5 mm ・材質: ステンレス製 (3) ダイヤモンドビット ・長さ: 15 mm, 軸径: 5 mm
②スライドブロック	(1) ボール ・長さ: 450 mm, ・断面: 50×50 mm (2) レーザ変位計 ・計測距離: 250±150 mm, 北陽電機
③水循環装置	・真空圧: 2000 mmAq, 流量: 2.5 m ³ /min ・出力: 1.1 kW, タンク容量: 15L
④真空ポンプ	・真空圧: 750 mmAq, 流量: 1.5 m ³ /min ・出力: 1.5 kW
⑤空気圧縮機	・形式: EWS-30, ・電源: 100V ・定格電流: 7.5A, ・消費電力: 700W ・最高圧力: 0.78 Mpa, 回転数: 1400rpm ・排出量: 75L/min., ・タンク容量: 30L



図—2 製作した3種類の試験体の外観

表—2 コンクリート試験体の基本配合と圧縮強度

コンクリート試験体番号	圧縮強度 N/mm ²	密度(骨材は表乾)(g/cm ³)				計画配合(kg/m ³)					
		C	S	G	W	C	S	G	15s (AE減水剤)	303 (AE空気調整剤)	
C-1	24.6	3.14	2.63	2.66	170	233	869	1012	2.10	0.01	
C-2	30.6	3.16	2.91	2.45	175	206	902	989	1.75	0.004	
C-3	37.9	3.14	2.63	2.66	160	291	831	1028	2.62	0.01	
C-4	49.4	3.16	2.91	2.45	160	246	849	1049	1.97	0.01	
C-5	84.9	3.16	2.91	2.45	155	369	755	1054	2.77	0.01	

表—3 モルタル試験体の基本配合と圧縮強度

モルタル試験体番号	圧縮強度 N/mm ²	密度(骨材は表乾)(g/cm ³)				計画配合(kg/m ³)					
		C	S	G	W	C	S	G	15s (AE減水剤)	303 (AE空気調整剤)	
M-1	20.5	3.14	2.63	2.66	294	346	1515	—	3.11	0.02	
M-2	29.9	3.14	2.63	2.66	279	430	1483	—	3.44	0.02	
M-3	55.2	3.14	2.63	2.66	272	646	1320	—	4.85	0.03	

表—4 グラウト試験体の基本配合と圧縮強度

グラウト 試験体番号	圧縮強度 N/mm ²	超低粘性型 グラウト kg	水 kg
G-1	37.3	25	16
G-2	48.2	25	13
G-3	58.1	25	10

表—5 テストピースの仕様

試験体	試験体の 寸法 (円柱)	試験体本数	試験体材齢	養生方法
コンクリート	径:10cm 高さ:20cm	各3本	材齢112日	縦養生20℃を7日間実施し、その後屋内で気中養生
モルタル	径:10cm 高さ:20cm	各3本	材齢112日	縦養生20℃を7日間実施し、その後屋内で気中養生
グラウト	径:5cm 高さ:10cm	各3本	材齢6日	封緘養生20℃を7日間

3. 粗骨材を含むコンクリートのドリル穿孔

3.1 穿孔状態と穿孔内部の観察

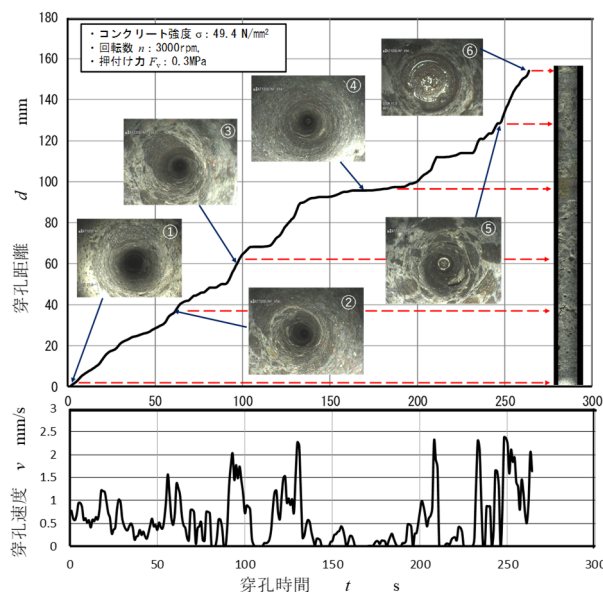
小口径 (5 mm) のドリルを用いた穿孔では、コンクリート内部に点在する粗骨材を直接穿孔する場合があります、穿孔速度は必ずしも一定とはならない。図—3 に、コンクリート試験体を穿孔した際の穿孔時間に対する穿孔深さの関係を示す。状況を分かりやすく説明するため、比較的粗骨材が多く含まれる部位の典型的な穿孔例を示し、併せて、内視鏡で連続撮影した柱状図および穿孔深さ曲線が大きく変化するときの正面撮影画像を示す。

穿孔深さの状態を観察すると、穿孔開始点付近 (写真①) は、コンクリートの仕上げ層による白色の状態であることが分かる。穿孔開始から 60 秒付近までは比較的直線的な変化であり、白色 (コンクリート) と黒色 (粗骨材) が混じりあった層になっている (写真②)。写真③付近では、モルタルの割合が多くなり、穿孔の勾配やや高くなっていることが分かる。

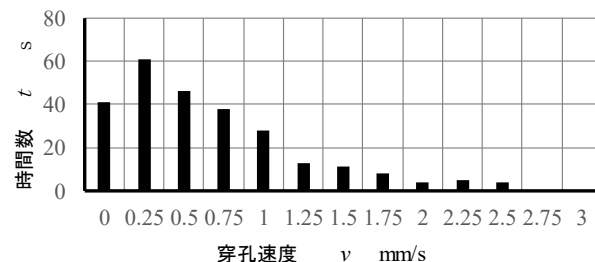
穿孔時間が 130 秒から 190 秒の範囲では、穿孔深さほぼ一定となり写真④で見られるような黒色の粗骨材を穿孔していることが分かる。穿孔にはかなりの時間を要している。粗骨材を通過すると再び粗骨材とモルタルが混在する層となり、穿孔勾配は上昇し (写真⑤) その後穿孔の最長部まで達している (写真⑥)。このように、5 mm の穿孔では、粗骨材とモルタルが混在する部位を穿孔し、穿孔勾配 (穿孔速度) は絶えず変化することが分かる。

3.2 穿孔の瞬時穿孔速度と時間分布

穿孔勾配はコンクリートの内部状態で変化するため、1 秒毎の穿孔速度 (mm/s) を計算した。図—3 (下部) に各穿孔時間に対する穿孔速度の関係を示す。穿孔深さの勾配に呼応して穿孔速度が変化することがよく確認できる。粗骨材の影響がある部分では、穿孔速度が 1.0 mm/s より小さい値であることが分かる。図—4 に各穿孔速度の範囲に対する時間数の分布を、表—6 に対応する時間数を示す。ここで、穿孔①は試験体の穿孔位置を表す。穿孔速度は 0.25 mm/s 毎に分割し、各値はその上限と下限範囲の速度値に属する累積時間を示している。時間数の



図—3 粗骨材を含むコンクリート試験体の穿孔時間に対する深さおよび穿孔速度の関係



図—4 各穿孔速度の範囲に対する時間数分布

表—6 各穿孔速度範囲に対する時間数値

速度範囲番号 i	0	1	2	3	4	5	6
穿孔速度	下限 $v_{c,i}$	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25
	上限 $v_{c,i+1}$	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25
時間数 t_i	穿孔①	41	61	46	38	28	13
平均穿孔速度 $v_{mean,i}$		0.59	0.71	0.94	1.17	1.45	1.62
速度範囲番号 i	7	8	9	10	11	12	13
穿孔速度	下限 $v_{c,i}$	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75
	上限 $v_{c,i+1}$	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3
時間数 t_i	穿孔①	8	4	5	4	0	0
平均穿孔速度 $v_{mean,i}$		2.74	2.97	-	-	-	-

分布より、穿孔速度が 1.0 mm/s より小さい範囲に時間数が集中していることが分かり、この領域が粗骨材の影響を受ける範囲であることが分かる。この結果より、穿孔速度の小さい時間数の領域を除き、残りの総時間数で、穿孔深さ全体 (穿孔速度が小さくても時間数に応じて穿孔は進むので、その穿孔深さは差し引く) で割ることで、粗骨材の影響を除いた平均の穿孔速度 $v_{mean,i}$ が、式 (1) で求められる。

$$v_{mean,i} = \frac{L_{Total} - \sum_{k=1}^i \{(v_{c,k} + 0.125) \times t_k\}}{T_{Total} - \sum_{k=1}^i t_k} \quad (1)$$

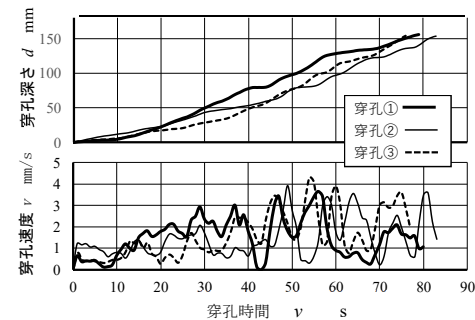
ここで、 L_{Total} は全穿孔深さ（本実験では 155mm）、 T_{Total} は全穿孔時間、 i は石層による影響を取り除く速度範囲の番号、 $v_{c,i}$ は i 番目の速度範囲の下限値、 t_i は i 番目の速度範囲に対する時間数を表す。表—6 に式 (1) で計算した平均穿孔速度を示す。 i が大きくなるほど $v_{mean,i}$ は大きくなり、石材の影響が小さくなることがわかる。ただし、削除する穿孔速度の選定については、判断が難しいため、4 章では圧縮強度の異なる試験体を用いて粗骨材の影響を含む穿孔速度の値を実験的に検証した。

4. 各種の試験体による粗骨材の影響と強度推定

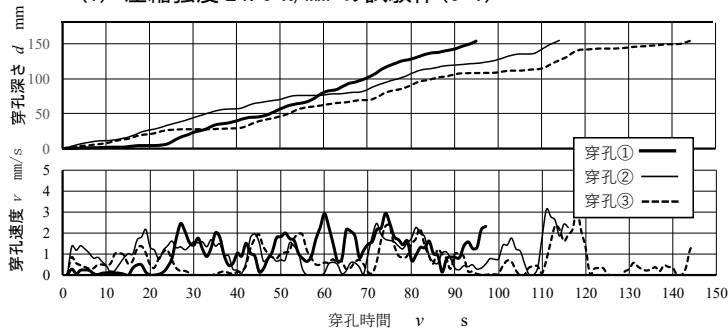
4.1 コンクリート試験体の穿孔状況

粗骨材が多く含まれるコンクリート試験体を対象として、穿孔試験を実施した。図—5 の (1)～(5) にコンクリート強度が異なる各試験体の穿孔時間に対する穿孔深さ、穿孔速度を示す。また、穿孔①～③は試験体の穿孔位置を表す。試験体の強度によらず、穿孔深さは時間に対してほぼ比例する値をとる。一方、粗骨材の分布等の影響により、部分的な穿孔速度は大きく異なる。

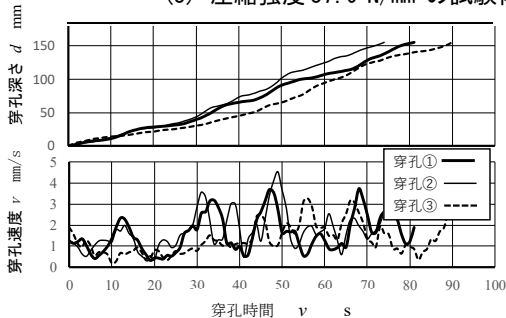
穿孔深さの変化が低勾配になる場合は、穿孔速度が



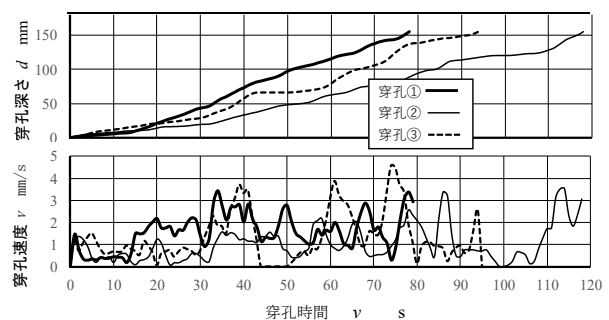
(1) 圧縮強度 24.6 N/mm² の試験体 (C-1)



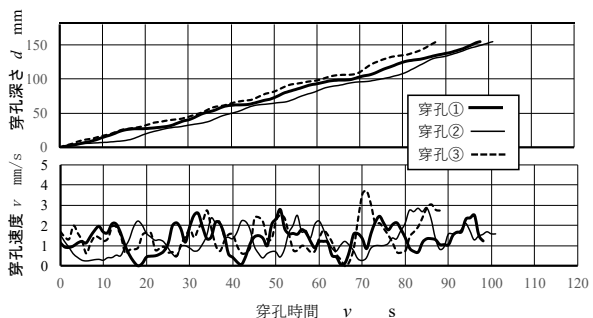
(3) 圧縮強度 37.9 N/mm² の試験体 (C-3)



(4) 圧縮強度 49.5 N/mm² の試験体 (C-4)



(2) 圧縮強度 30.6 N/mm² の試験体 (C-2)



(5) 圧縮強度 83.8 N/mm² の試験体 (C-5)

図—5 強度が異なるコンクリート試験体の穿孔時間に対する穿孔深さ、穿孔速度

1mm/s 以下となる場合が多く、粗骨材を穿孔するのに多くの時間を要する。この影響は圧縮強度が小さい試験体ほど顕著であり、圧縮強度が高くなると、穿孔速度の変動は小さくなる。各試験体に対する穿孔速度の範囲と時間数を表—7 に示す。各穿孔速度の範囲と時間数は不規則であるが、3.2 節で示した平均穿孔速度を適用することで、その関係を明らかにした。なお、穿孔はフラット仕上げ面で実施したため、仕上げの方法が穿孔速度の算定に与える影響は不明であり、今後の課題としたい。

表—7 各穿孔速度範囲に対する時間数

圧縮強度	穿孔速度	下限	0	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25
24.6	穿孔①	上層	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.25	2.5	2.75	3	3.25	
	穿孔②	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	
	穿孔③	3	1	3	15	10	13	12	8	3	5	2	1	2	4	
	穿孔④	3	0	11	6	11	6	11	3	5	2	5	1	3	6	
30.6	穿孔①	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	
	穿孔②	3	1	3	15	10	13	12	8	3	5	2	1	2	4	
	穿孔③	3	0	11	6	11	6	11	3	5	2	5	1	3	6	
	穿孔④	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	
37.9	穿孔①	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	
	穿孔②	3	1	3	15	10	13	12	8	3	5	2	1	2	4	
	穿孔③	3	0	11	6	11	6	11	3	5	2	5	1	3	6	
	穿孔④	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	
49.5	穿孔①	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	
	穿孔②	3	1	3	15	10	13	12	8	3	5	2	1	2	4	
	穿孔③	3	0	11	6	11	6	11	3	5	2	5	1	3	6	
	穿孔④	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	
83.9	穿孔①	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	
	穿孔②	3	1	3	15	10	13	12	8	3	5	2	1	2	4	
	穿孔③	3	0	11	6	11	6	11	3	5	2	5	1	3	6	
	穿孔④	4	4	9	5	7	6	2	12	11	7	5	3	1	3	

表—8 粗骨材の影響を考慮した平均穿孔速度

試験体の強度 N/mm ²	穿孔番号	各穿孔速度 $v_{c,i}$ 以下を除いた平均穿孔速度					
		$v_{c,i}=0$	$v_{c,i}=0.25$	$v_{c,i}=0.5$	$v_{c,i}=0.75$	$v_{c,i}=1.0$	$v_{c,i}=1.25$
24.6	穿孔①	2.04	2.15	2.24	2.55	2.72	3.05
	穿孔②	1.89	1.96	1.98	2.13	2.39	2.71
	穿孔③	2.12	2.21	2.18	2.54	2.73	3.35
30.6	穿孔①	1.96	2.04	2.03	2.37	2.41	2.51
	穿孔②	1.30	1.35	1.47	1.82	2.13	2.68
	穿孔③	1.76	1.98	2.08	2.05	2.76	3.91
37.9	穿孔①	1.57	1.63	1.99	2.17	2.18	2.80
	穿孔②	1.31	1.40	1.49	1.70	1.91	2.23
	穿孔③	1.04	1.10	1.35	1.84	2.26	2.75
49.5	穿孔①	1.89	1.96	1.95	2.03	2.27	2.51
	穿孔②	2.15	2.25	2.24	2.19	2.45	2.58
	穿孔③	1.68	1.74	1.74	1.81	2.03	2.50
83.9	穿孔①	1.52	1.57	1.66	1.74	1.88	1.88
	穿孔②	1.48	1.52	1.48	1.70	1.83	2.10
	穿孔③	1.72	1.51	1.53	1.49	1.62	1.95

4.2 粗骨材の影響を考慮した強度推定

表—7の数値を用いて式(1)に代入し、計算した平均穿孔速度を表—8に示す。ここでは粗骨材の影響が疑われる穿孔速度の上限を1.25 mm/sより低い値とし、穿孔速度範囲 $v_{c,i}$ で分離して、試験体の強度と平均穿孔速度の関係を求めた。図—6に平均穿孔速度と圧縮強度の関係を示す。なお、穿孔①～③のプロットは各試験体で穿孔した穿孔位置を示す。穿孔速度 v が小さい範囲($v_{c,i} \sim 0.5$)では、各プロットがばらばらに点在し、平均穿孔速度と試験体強度との間には関係性は見え難い。しかし、 $v_{c,i} = 0.75 \sim 1.0$ では、各プロットが集約し、平均穿孔速度と試験体の強度が直線的に並ぶことが分かる(図中の赤い破線)。この関係を用いると、穿孔の平均速度からコンクリート強度を推定できる可能性がある。一方、 $v_{c,i} = 1.25$ ではプロットの値は再び散らばり、関係性は薄くなっていく。これは通常穿孔(粗骨材の影響がない場合)に係る穿孔速度まで除いたためと考えられる。

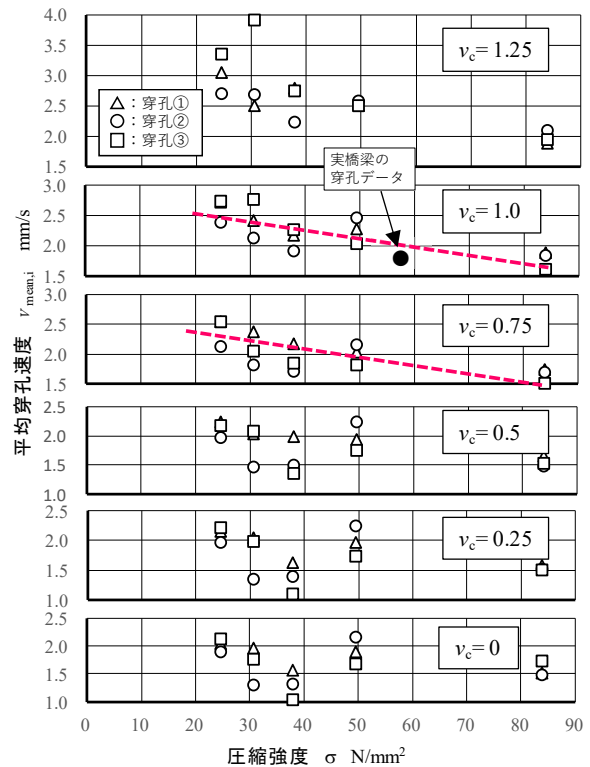
このように、口径5 mmの研磨ドリルで穿孔する場合、 $v_c=0.75$ とすれば図—6で得られた直線の勾配から、コンクリート強度 σ は式(2)で推定することができる。

$$\sigma = 83.9 - 59.3 * (v_{mean,i} - 1.5) \quad (2)$$

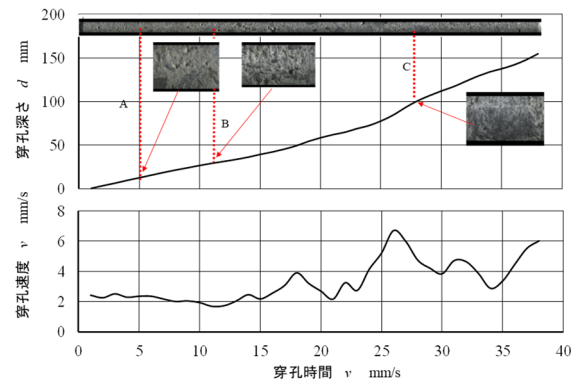
ただし、式(2)は今回使用した試験体に対する関係式であり、粗骨材等の配合が異なる試験体では必ずしも適合しないと思われる。しかし、粗骨材の影響を取り除いた平均穿孔速度の関係を導入することで、小口径ドリルによる穿孔試験でも、コンクリート強度を十分に推定できる知見を得た。

4.3 粗骨材の影響が少ない試験体による強度推定

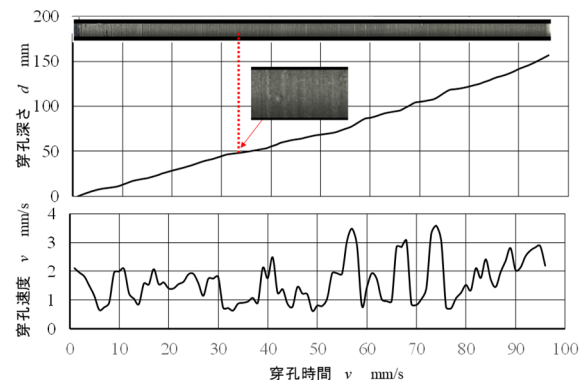
モルタル試験体とグラウト試験体を用いて、同様な穿孔実験を実施した。図—7、図—8に穿孔試験の一例を示す。モルタル試験体における穿孔深さは、やや波打つ



図—6 穿孔速度の範囲を考慮した平均穿孔速度と圧縮強度の関係



図—7 モルタル試験体による穿孔試験
(圧縮強度: 20.1 N/mm²)



図—8 グラウト試験体による穿孔試験
(圧縮強度: 37.3 N/mm²)

変化が見られるが、穿孔時間に対してほぼ直線となっている。図中の写真(A,B および C)は穿孔速度が変化する近辺での断面であるが、粗骨材がないことからいずれ

表—9 粗骨材を含まない試験体の平均穿孔速度

(a) モルタル試験体				(b) グラウト試験体			
試験体の強度 N/mm^2	穿孔実験 番号	$v_c=0$ の時 間数	$v_{mean,i}$	試験体の強度 N/mm^2	穿孔実験 番号	$v_c=0$ の時 間数	$v_{mean,i}$
37.3	穿孔①	96	1.61	20.4	穿孔①	58	2.67
	穿孔②	90	1.72		穿孔②	48	4.31
	穿孔③	88	1.76		穿孔③	36	3.23
	穿孔④	95	1.63	29.9	穿孔①	47	3.30
48.2	穿孔①	151	1.03		穿孔②	38	4.08
	穿孔②	149	1.04		穿孔③	38	4.08
	穿孔③	144	1.08	55.2	穿孔①	101	1.53
	穿孔④	146	1.06		穿孔②	97	1.60
58.1	穿孔①	154	1.01		穿孔③	89	1.74
	穿孔②	151	1.03				
	穿孔③	169	0.92				
	穿孔④	171	0.91				

もほぼ均一であることが分かる。モルタル試験体およびグラウト試験体の穿孔速度は2～4mm/sおよび1.5～2 mm/s 付近にあり、4.2 節で示したコンクリート試験体と同様に、粗骨材の影響がない速度に対応している。この場合、穿孔速度 $v_c=0$ となり、穿孔深さを穿孔時間で割ることで、平均穿孔速度が求まる。グラウトおよびモルタル試験体と同様の傾向があり、粗骨材の影響がないことが分かる。

表—9 に各試験体で実施した穿孔速度と圧縮強度の関係を示す。また、試験体の圧縮強度と平均速度の関係を図—9 に示す。平均穿孔速度は圧縮強度に対してほぼ直線的な関係があることが分かる。圧縮強度は平均穿孔速度に対して簡易な一次式で表現でき、各試験体の強度を推定できると思われる。

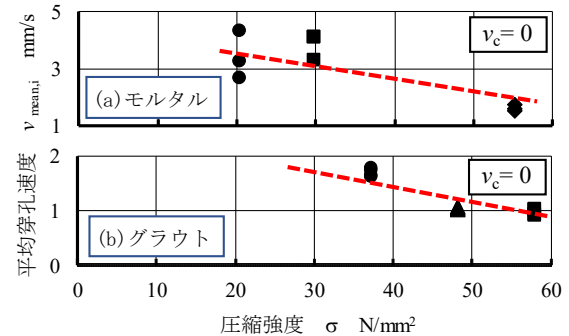
4.4 実際の橋梁コンクリートによる強度推定

試験体で用いた小口径研磨ドリルを実際の橋梁構造物に適応し、コンクリート試験体の結果と比較した。橋梁は約 50 年前に施工された太田跨線橋³⁾であり、その後撤去された一部の部材（強度：(60.7 N/mm²)）について穿孔試験を実施した。穿孔試験の結果を図—10 に示す。穿孔深さの変化はほぼフラットな骨材の影響による特徴が見られたが、穿孔速度が 1 mm/s 以下での部分も多くみられた。このデータを基に、コンクリート試験体と同様な操作 ($v_c=1.0$ 以下の時間数を除いた総時間数から、平均穿孔速度を求めた)を行った結果、 $v_{mean,i}=1.96$ となった。図—6 に示す●のプロットが対応する関係であり、コンクリート試験体の穿孔速度と圧縮強度の関数に近似することが確認された。

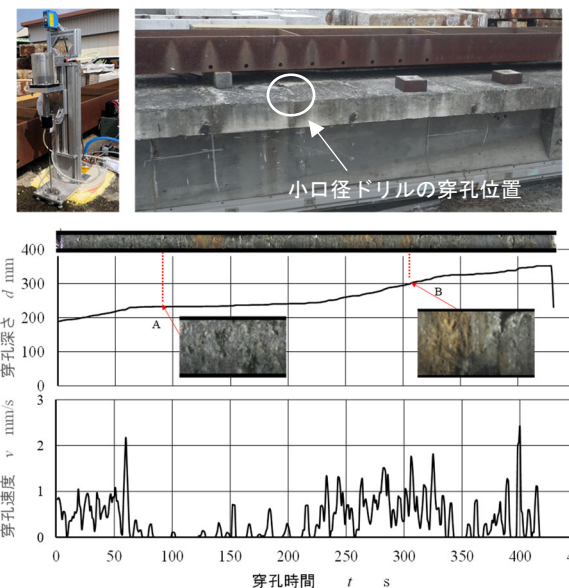
上記の結果より、粗骨材が影響する $v_c=1.0$ 以下の時間数を除いた平均穿孔速度を算出することで、コンクリート強度との関係を推定できると思われる。

5. まとめ

小口径 5 mm のドリルによる穿孔では、コンクリート内部に混在する粗骨材など影響を受け、穿孔速度が大きく



図—9 モルタルおよびグラウト試験体の圧縮強度と平均穿孔速度の関係



図—10 小口径研磨ドリルによる実橋梁試験体穿孔試験

変化する。そこで、穿孔速度の解析から粗骨材に起因する穿孔速度の範囲を見出し、粗骨材の影響を除いた平均穿孔速度 $v_{c,i}$ を比較した。この結果、 $v_{c,i}=0.75\sim1.0$ では、 $v_{c,i}$ と試験体の強度 σ がほぼ直線的に揃い、 $v_{c,i}$ と σ が簡易な一次式の関係となることが確認できた。モルタルやグラウトは粗骨材含まないため、 $v_{mean,i}$ と σ の関係はほぼ直線的となることを確認した。本実験の結果より、小口径研磨ドリルでも粗骨材の影響を考慮することでコンクリート部材の強度推定が可能であると思われる。

今後は、様々なコンクリートで提案する手法を検証し、より精度の高い強度推定を確立して行く予定である。

参考文献

- 1) 井上文宏：コンクリート強度の推定方法，コンクリート強度の推定システム，及び穿孔装置，公開特許公報，特開 2008-128831，2008
- 2) 井上文宏，佐藤智，渡邊晋也，根間栄順：小口径深穴穿孔機を利用した既設コンクリートの強度簡易推法，コンクリート工学年次論文集 Vol.36, No.1, pp.2056-2061, 2014.
- 3) 二井谷教治，他：38 年間供用された太田跨線橋撤去桁の健全度調査，プレストレスコンクリート技術会，第 14 回シンポジウム，2005.