65. 超音波反射強度を用いたボーリング孔壁強度の推定

Estimation of borehole wall strength using ultrasonic reflection intensity

○安冨宏和（日本物理探鑛），森口安宏（川崎地質），藍壇オメル（琉球大学），
渡嘉敷直彦（元琉球大学），八野祐二（基礎地盤コンサルタンツ），石川貴規（応用地質），
中原毅（国際航業），平木伸明（サンコーコンサルタント），山田直之（ダイヤコンサルタント），
川上哲（中央開発），村田明（東建ジオテック），戸谷成寿（アサノ大成基礎エンジニアリング），
宮澤忠明（レアックス），田島克洋（アース・スキャニング研究会事務局）

1．はじめに

超音波は，ボーリング孔内において音波検層やボアホールスキャナーとして使われており，音響インピーダンスの差が大きい境界面では，反射率が大きくなることが知られている．そこで，反射強度の大きさからボーリング孔壁の硬さ(＝強度)を推定できるかを検証するために行った実験結果について報告する．

2．基礎実験

(1)実験方法：水：セメント比を変えて硬さの異なるテストピース(写真-1)を作成し，このテストピースにφ66mm でコアリングを行い，その孔の中で超音波反射強度を測定するとともに，コアリングで採取したコアを用いて，一軸圧縮試験等の室内試験を行った．また，物性値が既知の試料（写真-2）を用いて，超音波反射強度の測定を行った．

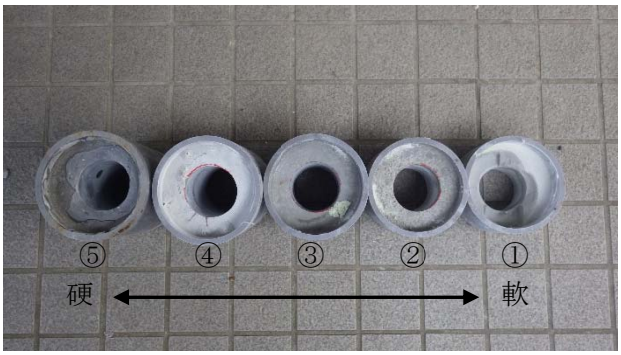

写真-1　水セメント比を変えて作成したテストピース

写真-2　物性値が既知の岩石等試料（右側２列は岩石試料）

各試料の物性値を表-1 に示す．

フルウェーブ（＝1 回の発振（周波数：1MH z）に対する反射波を 20ns 間隔でサンプリングした値を繋いで連続波形として表したもの）の超音波反射波形には，第一波及び多重反射(第二波～第四波)の反射波が見られるが，第一波の最大振幅を反射強度として読み取った（図-1）．

表-1　試料物性値一覧表

試料名		密度 (g/cm^3)	一軸圧縮強度 (MN/m^2)	P波速度 (km/s)	S波速度 (km/s)
テストピース	①	1.740	4.1	2.655	1.327
	②	1.760	6.2	2.827	1.404
	③	1.827	16.9	3.134	1.572
	④	1.945	37.9	3.536	1.768
	⑤	2.132	85.4	4.174	2.100
溶結凝灰岩		1.990	26.8	2.530	1.400
砂岩		2.090	38.3	2.640	1.390
大理石		2.700	84.7	5.670	3.030
大谷石		1.740	8.3	2.090	0.990
凝灰岩		1.770	22.6	2.320	1.380
花崗岩		2.680	173.8	4.800	2.620
安山岩		2.760	224.8	5.820	2.970
プラスチック		1.410	—	2.300	0.950
ゴム		1.120	—	1.570	0.250

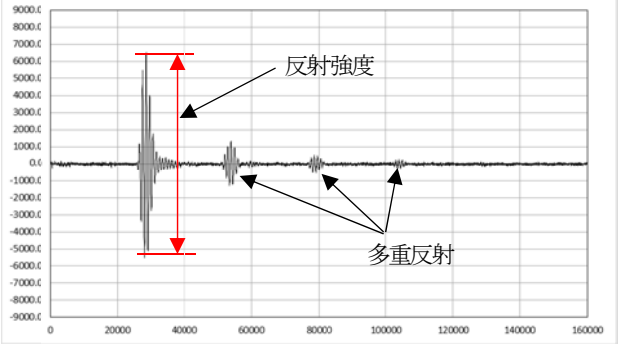

図-1　フルウェーブの反射強度の読み取り方法

反射強度は，各テストピースの 40 箇所，各岩石等試料の 5 箇所で測定し，読み取った．

(2)基礎実験結果：超音波反射強度は，テストピースでは孔内で，岩石等試料では端面の平坦部で測定している．また，測定時のプローブからの距離は，テストピースで 3mm，岩石等試料で 10mm の離れで測定を行っている．従って，テストピースの反射強度と岩石等試料の反射強度を比較するには，距離や反射面の形状の補正が必要となる．これらの補正を行った結果の反射強度と各物性値の関係を図-2～図-5 に示す．

図-2～図-5 を見ると，反射強度と密度，Ｐ波速度，Ｓ波速度の間には相関関係が認められる．しかし，反射強度と一軸圧縮強度の間にはバラツキが大きく，明確な相関は認められない．一軸圧縮強度の相関図でバラツキが大きい原因は，密度やＰ・Ｓ波速度では相関が認められることから，一軸圧縮試験に用いた供試体中に潜在亀裂等の弱線が存在したためと推測される．

以上の基礎実験結果から，反射強度と反射体の硬さの間には相関があると判断される．

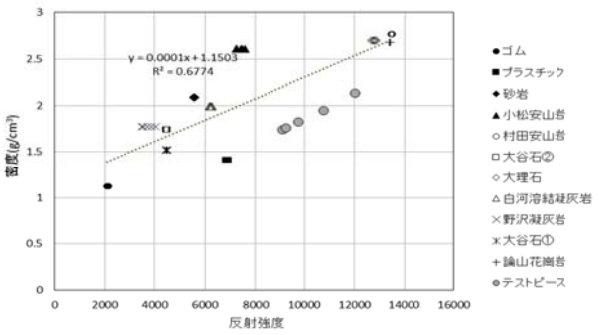

図-2　反射強度と密度の関係

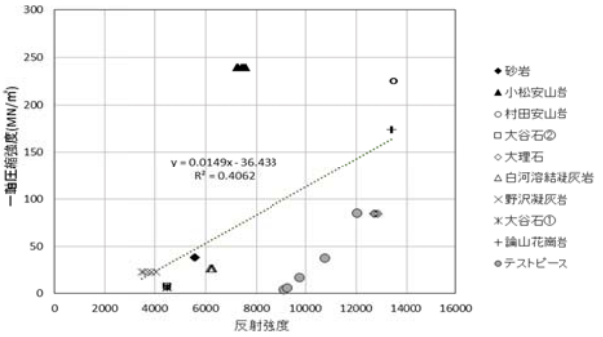

図-3　反射強度と一軸圧縮強度の関係

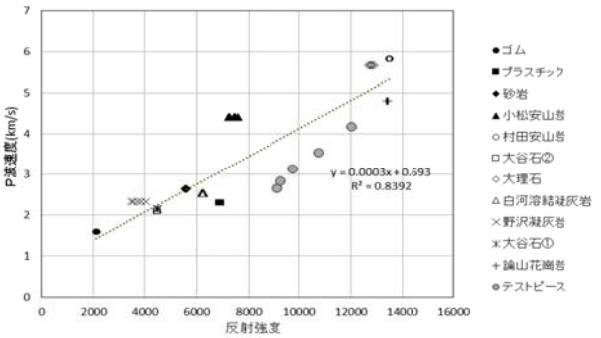

図-4　反射強度とＰ波速度の関係

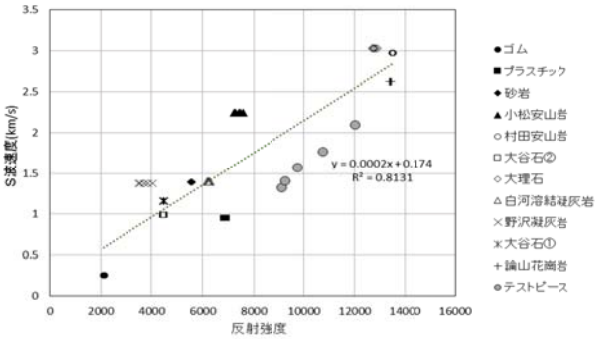

図-5　反射強度とＳ波速度の関係

３．地盤実験

(1)実験方法：改良地盤にボーリング孔を削孔し，孔内で超音波反射強度を測定するとともに，採取されたコアを用いて針貫入試験を実施した．フィールドに改良地盤を選んだのは，地盤の硬さに変化があると考えたためで，ボーリングの結果，上部では改良剤の混入が少なく固結度の小さい地盤で，中間部では改良され固結した部分（以下基質と呼ぶ）と未固結の土塊（以下ボイドと呼ぶ）が混在する地盤で，下部は基質主体の地盤であることが判明した．強度を求めるのに針貫入試験を用いたのは，超音波反射強度が点の値であることによる．

超音波反射強度はＥとＷの２方向で，深度方向に 2cm 間隔で測定した．針貫入試験は上部（GL-0.4～-0.9m），中間部（GL-3.0～-3.5m），下部（GL-4.4～-4.9m）の３箇所で，超音波反射強度を測定した箇所に対して実施した．

(2)地盤実験結果：図-6 に針貫入試験結果の例を示す．

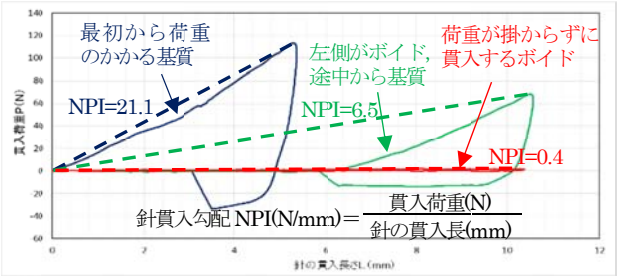

図-6　針貫入試験結果例

図-7 に反射強度と針貫入勾配（ＮＰＩ）の深度分布図を示す．

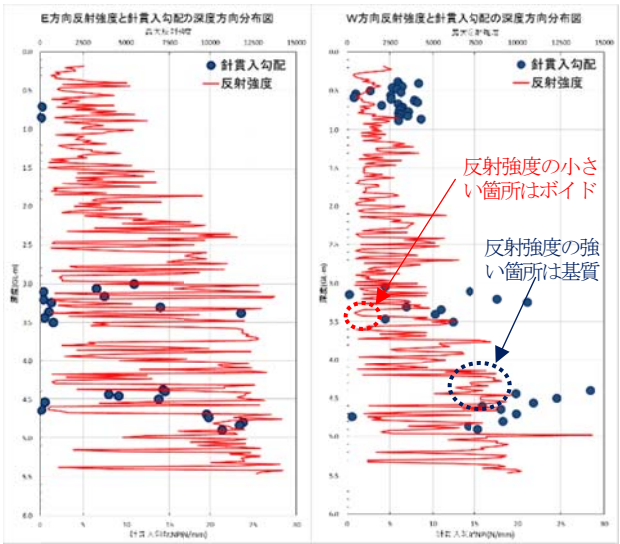

図-7　反射強度と針貫入勾配の深度分布図

図-7 では反射強度が細かく振れているが，低い値のところがボイドに反射した箇所で，高い値のところが基質に反射した箇所である．深度が深くなるに従い，反射強度と針貫入勾配が大きくなっており，地盤の性状と一致している．

４．まとめ

反射強度と一軸圧縮強度はバラツキが大きく相関は見られなかったが，潜在亀裂が原因と考えられ，改良地盤で行った実験では，反射強度と針貫入試験は地盤の性状を反映し，相関性があると判断される．以上，今回の実験より反射強度は地盤の強度を表す一つの指標になると考えられる．

参考文献

1）Comparison of Borehole Scanning Systems, Optical Digital Scanner(ODS) and Ultrasonic Scanner (USS) ,Kawakami,A., Yasutomi,H., Murata,A., Nakahara,T., Hiraki,H., Moriguchi,Y., Ootsuka,Y. and Tajima,K. (2014) Proceedings of 8th Asian Rock Mechanics Symposium, ISRM, pp. 2224-2232

2）ボアホールカメラの孔壁画像の改善に向けた基礎研究　森口安宏他　(2014)　日本応用地質学会研究発表会 論文番号 25