

Q

ボーリングのコア判定で、 N 値がどのくらいなら軟岩と判定していいでしょうか？

A

ボーリング調査時のコアの工種区分では、未固結堆積層でなく、 N 値が概ね 50 以上の軟質な岩から C_L 級の岩を軟岩と評価することが一般的です。ただし、調査の目的や地質により異なる場合もあるため、このような場合には受発注者で協議が必要です。

(1) はじめに

ボーリングコアの工種区分は調査費に直結するものであり、掘削の困難さに応じて決定する必要があります。

困難さとは、調査の目的と求められるコアの品質、分布する地質に対して、掘削ツールの損耗度合い、掘削にかかる時間、試料の採取し難さ等、様々なボーリング調査独自の特徴により変わります。

ここでは、掘削ツールの損耗や掘削にかかる時間を指標とした、ごく一般的な工種区分と N 値との関係について検討しました。 N 値と工種区分の関係や、試料採取の難しさやコア品質とは一義的には対応しません。また、「調査ボーリングの掘削手間」と「地質解析の複雑さ」、「施工での工種区分」も同一ではありません。したがって、ここに示す N 値と掘削区分との関係は、あくまでも中四国において分布する地質帯における経験則的な指標であり、切土計画に伴う調査や、構造物の基礎地盤を確認する調査等、一般的な内容に対応するものです。コアの高い品質を求められるような調査や特殊な地質状況に対応する調査については、業務毎に受発注者が協議して決定することが必要となることに留意してください。「軟岩」の定義だけでなく、積算上の工種区分と作業の実態にも様々な見解があり、今後の議論が必要だと思われまます (表-1)。

表-1 土と岩に絡む事象のまとめ

	一般的な特徴	工事	調査ボーリング	地質解析
土	<ul style="list-style-type: none"> 未固結～低固結な土砂 N値が低いことが多い。 N値が高くても未固結であれば、土質扱い(砂礫層など)。 ほぼ水平な沖積層など比較的単純な分布。 	[積算上の工種区分] <ul style="list-style-type: none"> 土質・地質を基本にしつつも、施工性により区分。 [主な指標] <ul style="list-style-type: none"> N値、一軸圧縮強度、P波速度、亀裂密度など。 ↓ <ul style="list-style-type: none"> 完全に土砂化した岩盤を土質扱いする場合もある。 	[積算上の工種区分] <ul style="list-style-type: none"> 土質・地質を基本にしつつも、施工性により区分。 [柱状図] <ul style="list-style-type: none"> 目的により、地質学的分類～工学的分類を使い分けている。 [主な指標] <ul style="list-style-type: none"> N値、観察記事、一軸圧縮強度、P波速度、亀裂密度など。 ↓ <ul style="list-style-type: none"> 柱状図では強風化岩でも、積算区分は土砂とすることもある。 	[積算上の工種区分] <ul style="list-style-type: none"> 調査ボーリングの数量(削孔長)により土質か岩盤か区分。 [主な指標] <ul style="list-style-type: none"> 岩盤1孔は土質3孔分とする。 解析の複雑さから、岩盤の解析費が高くなっていると考えられる。 ↓ <ul style="list-style-type: none"> 強風化岩などは、堅岩よりも評価が難しく、N値が低いからと言って土質として扱えない。
岩	<ul style="list-style-type: none"> 半固結～固結した堆積岩。 火成岩や変成岩(花崗岩、結晶片岩など)。 N値が高いことが多い。 節理(亀裂)・断層・褶曲・風化・変質など分布や性状が複雑。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工性を主眼とするので、調査ボーリングの工種区分と概ね一致する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質学的分類と施工性は必ずしも一致しないので、地層名と積算上の区分が一致しないことがある。 削孔や解析の困難さを考慮すると、N値だけにより工種区分するのは早計。 	<ul style="list-style-type: none"> 積算上は、調査ボーリングの工種区分(土質か岩盤か)により、地質解析の区分も決まるので、N値の低い強風化岩を土質扱いすると実態と整合しなくなる。
摘要	<ul style="list-style-type: none"> N値の大小が、土質・地質区分や掘削の困難さと対応するとは限らない。 	<ul style="list-style-type: none"> 施工性を主眼とするので、調査ボーリングの工種区分と概ね一致する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質学的分類と施工性は必ずしも一致しないので、地層名と積算上の区分が一致しないことがある。 削孔や解析の困難さを考慮すると、N値だけにより工種区分するのは早計。 	<ul style="list-style-type: none"> 積算上は、調査ボーリングの工種区分(土質か岩盤か)により、地質解析の区分も決まるので、N値の低い強風化岩を土質扱いすると実態と整合しなくなる。

(2) 軟岩とは

軟岩とは「一口で言うなら、土のようにばらばらにはならないが、硬岩のように硬くはない、半固結状の岩石である」と言われています¹⁾。工学的区分や掘削区分における軟岩は、一軸圧縮強度を目安として区分する 경우가多く、土木学会¹⁾では主に新生代の泥～砂質泥岩を対象に一軸圧縮強度が1～10MPa(10～100kg/cm²)あるいは20MPa(200 kg/cm²)程度の領域を軟岩としています。地盤工学会岩盤分類基準化委員会²⁾では、25MPa以下を軟岩として取り扱っています。さらに、武田・横山³⁾は地学辞典の中で、軟岩は発破を必要とせずリッパ掘削が可能なものとしています。国土交通省の設計業務等標準積算基準書⁴⁾では、ボーリング調査でメタルクラウンにより容易に掘削できる岩盤、地山弾性波速度(P波)は2.5km/s以下、一軸圧縮強度は30MPa(30N/mm²)以下としています(表-1)。

上記のように軟岩の範囲について相場感はあるものの、機関により区分の要素や数値区分に多少の違いが見られます。

地質区分における軟岩は、その成因から主に①堆積軟岩と②風化軟岩に分けられます。図-1は軟岩の形成過程と分類について整理したものです。①は新第三紀層の堆積岩のような固結度の低い岩石をさし、②は硬岩が風化して軟質になった岩盤、あるいは硬質ではあるが亀裂等で細かくばらばらになる岩盤を指します。また、日本では火山軟岩と呼ばれる凝灰質岩や熱水により変質を受けたやや特殊な軟岩も存在します。

掘削区分における土、軟岩、中硬岩、硬岩は遷移しています。軟岩をどこで区分するか、明確に数値で決めた基準は見当たりませんが、上記の記述が概ね応用地質分野の認識であると思います。

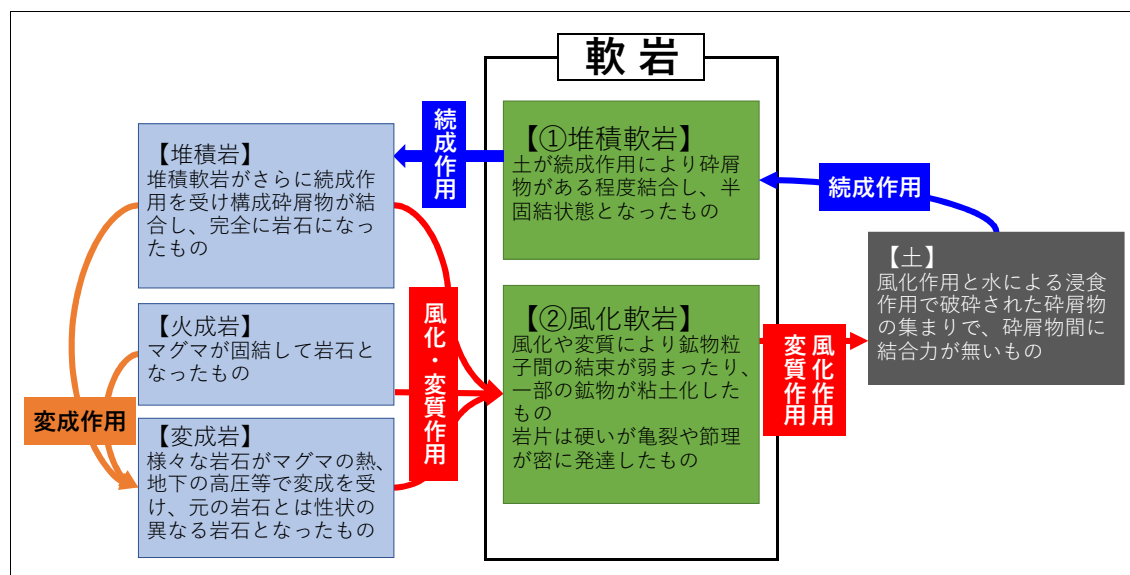


図-1 軟岩の形成過程と分類

表-1 設計業務等標準積算基準書（国土交通省、2017）による土質・岩分類⁴⁾

土質・岩分類	土質分類及びボーリング掘進状況	地山弾性波速度 (km/sec)	一軸圧縮強度 (N/mm ²)
粘土・シルト	ML, MH, CL, CH, OL, OH, OV, VL, VH ₁ , VH ₂	—	—
砂・砂質土	S, S-G, S-F, S-FG, SG, SG-F, SF, SF-G, SFG	—	—
礫混り土砂	G, G-S, G-F, G-FS, GS, GS-F, GF, GF-S, GFS	—	—
玉石混り土砂	—	—	—
固結シルト・固結粘土	—	—	—
軟岩	マルタウツで容易に掘進できる岩盤	2.5以下	30以下
中硬岩	マルタウツでも掘進できるがダイヤモンドビットの方がコア採取率が良い岩盤	2.5超3.5以下	30～80
硬岩	ダイヤモンドビットを使用しないと掘進困難な岩盤	3.5超4.5以下	80～150
極硬岩	ダイヤモンドビットのライフが短い岩盤	4.5超	150～180
破碎帯	ダイヤモンドビットの摩耗が特に激しく、崩壊が著しくコア詰まりの多い岩盤	—	—

上表の分類は、地盤材料の工学的分類法（小分類）による。

（3）N値によるボーリングコアの軟岩の判定について

N値を目安としたボーリングコアの判定では、概ね50以上を目安とすることが一般的です。軟岩の圧縮強度の下限値の参考として、図-2の一軸圧縮強度とN値の関係例⁵⁾を示します。図-2のグラフの中には、堆積軟岩として扱われる本牧土丹（△で表示）のデータがあり、N値50程度以上（一部50未満もある）、圧縮強度1MPa（1,000kN/m²）程度以上となっています。ただし、軟岩はあくまで岩石であり、土ではありませんので、N値が50以上でも未固結の堆積層は軟岩とは取扱いません。また、電研式の岩盤分類では、軟岩をD級（N値50以上のもの）～C_L級とする場合が多く、軟岩の上限はC_L級相当と思われます。

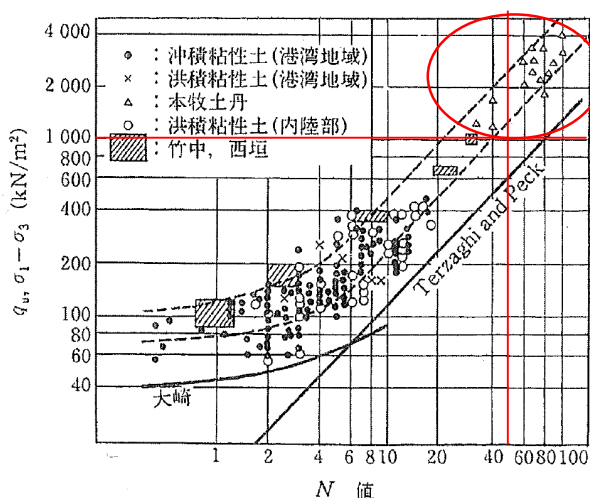


図-2 一軸圧縮強度 q_u と N 値との関係⁵⁾ に加筆（△：本牧土丹（堆積軟岩）の例）

(4) 写真で見る風化軟岩、堆積軟岩

参考に、風化軟岩、堆積軟岩の例を写真で紹介します。

写真-1 は和泉層群の風化軟岩の例、写真-2 は花崗岩の風化軟岩の例です。写真-1 では、主に割れ目に沿って褐色化が進み、全体として褐色・軟質化していますが、割れ目が識別でき、褐色の粘土を介在している様子が分かります。写真-2 の花崗岩の露頭写真では、全体に褐色化しマサ状の強風化岩 (D_Hクラス) の岩相を呈し、部分的に原岩色に近い硬質部が礫状に残存している様子が見えます。



写真-1 風化軟岩の例 1 (中生代白亜紀の和泉層群の砂岩・泥岩、香川県)



写真-2 風化軟岩の例 2 (中生代白亜紀の領家花崗岩、香川県)

堆積軟岩の事例として、土庄層群のシルト岩・砂岩（香川県）の例を写真-3に、穴内層の砂岩（高知県）の例を写真-4に示します。堆積軟岩は岩としては軟質で、割れ目も少なく、ボーリング掘削では棒状に採取されることが多いことが分かります。また、堆積年代などの違いによって、ナイフで少し削れる程度のものから割れ目が明瞭に識別でき、やや硬質となっているものまで含みます。



写真-3 堆積軟岩の例(古第三紀の土庄層群のシルト岩・砂岩、香川県)



写真-4 堆積軟岩の例(新第三紀・鮮新世の穴内層の砂岩、高知県)

(5) 終わりに

(4) では中国四国地方の地質を対象に N 値を測定して軟岩と評価した事例を、(3) では堆積軟岩の本牧土丹の事例を示し、 N 値 50 以上の岩について、軟岩と判断することができることを示しました。対象地質（土質・岩石）による「ボーリングの掘削」の難易や貫入試験の「貫入抵抗」の違いに応じた労務費、材料費、機械器具損料の計上から示される積算上のボーリング工種との比較においても、 N 値 50 以上を工種区分「軟岩」とすることは概ね妥当と考えられます。

ただし、 N 値による軟岩の取り扱いについては、調査の目的、対象構造物、現地の地質条件や作業の難易度等に応じて受発注者が協議し、総合的に判断することが必要だと考えます。

なお、軟岩の工学的評価に当たっては、軟岩の成因による分類とその岩種（礫質、砂質、泥質、互層、等）を識別し、コアの風化程度やコアの硬さ・形状など（ N 値や一軸圧縮強度など）を加味した岩盤評価区分（岩級など）に基づき、該当する軟岩の強度（内部摩擦角 ϕ や粘着力 c ）や変形特性を検討する必要があります。

また、軟岩の物性を議論する場合には、上述した強度（ ϕ 、 c ）や変形特性の他に含水状態および劣化しやすさ（スレーキング）などを加え総括的に捉えることが重要となります。

【引用文献】

- 1) 土木学会編・軟岩評価－調査・設計・施工への適用（1999）：第1章概説，p. 1, 2.
- 2) 地盤工学会岩盤分類基準化委員会（2004）：新規制定地盤工学会基準・同解説、岩盤の工学的分類方法（JGS3811-2004），p. 3-8.
- 3) 武田祐幸・横山俊治（2012）：地学辞典，地学団体研究会編，発行平凡社，p. 955.
- 4) 国土交通省大臣官房技術調査課（2018）：設計業務等標準積算基準書，設計業務等標準積算基準書（参考資料），第2章地質調査標準歩掛等，p. 2-2-5.
- 5) 地盤工学会（2013）：地盤調査の方法と解説－二分冊1－，p. 309.

（回答者 谷野宮 竜浩）