

岩盤上の基礎の鉛直方向の安定照査法のための地盤反力度の評価に関する研究

(独)土木研究所

正会員○木村 真也 河野 哲也 西田 秀明

(独)土木研究所

非会員 七澤 利明 中谷 昌一

1. はじめに 山岳部における道路建設の増加や施工技術の進歩に伴い、岩盤上に道路橋基礎が建設されることが増加している¹⁾。しかし、平成14年道路橋示方書・同解説(以下、H14道示)では、岩盤に支持された基礎の鉛直支持力に対する照査法が具体的に示されているのは直接基礎のみであり、ケーソン基礎や深礎基礎など他の基礎形式については個別に検討しているのが実状である。

H14道示における直接基礎の設計では、岩盤の極限支持力を支持力推定式により求めることは岩盤の亀裂等を考慮した地盤定数の評価には不確定な要素が多く困難であるとの判断から、多数の原位置平板载荷試験結果などに基づいて設定した最大地盤反力度の上限値を定めて基礎底面に分布する地盤反力度がこれを超えないことを照査する体系となっている。一方で、例えば、深礎基礎を対象とした文献2)に示される設計では、支持力推定式により支持力を求める方法が採用されている。これらのことから、基礎形式によって岩盤上の基礎の鉛直方向の安定性に関する照査方法は様々であり、結果として必ずしも安全余裕度など同一ではない可能性がある。そこで、岩盤上の基礎の鉛直方向の安定性を統一的に照査できるようにするために、岩盤の鉛直支持力について岩の亀裂や深度の影響を考慮した分析を行い、照査に用いる最大地盤反力度の上限値を提案することを目的として検討を行った。

2. H14道示における直接基礎の設計で用いる岩盤の最大地盤反力度の上限値の設定経緯

H14道示における最大地盤反力度の上限値は岡原らの検討結果に基づいて定められている³⁾。岡原らは、全国から収集した原位置試験や岩石試験より得られた試験結果に基づき、平板载荷試験で得られる岩盤の支持力を簡易な試験から推定する方法を提案している³⁾。図-1は、原位置試験や岩石試験より得られた各種試験値の関係性を分析した結果の一例である。これを踏まえて、一軸圧縮強度 q_u や孔内水平载荷試験の変形係数 E_b から、平板载荷試験により得られる極限支持力 p_u を間接的に推定する方法が提案されている(図-2)。

図-3は、各種試験値の関係を両対数1次式に回帰した推定式(図-2)を用いて、一軸圧縮強度 q_u と平板载荷試験による降伏支持力 p_y (破線)・極限支持力 p_u (実線)の関係を整理したものである。図中には、正規分布の片側5%を有意水準として誤差の評価を行ったもの(上限95%・下限5%)をあわせて示す。直接基礎は一般に地表面付近の平地や斜面等に計画され、風化や亀裂の影響を受けやすい環境にある。そこで、“亀裂の多い硬岩”や風化の影響を受けやすい“軟岩・土丹”については、長期荷重に対して地盤を弾性範囲内にとどめることを担保するため降伏支持力度の下限5%、“亀

表-1 H14道示の岩盤に支持された基礎の支持力照査

直接基礎	基礎底面の地盤反力度 $\leq$ 最大地盤反力度の上限値* *常時における岩盤の最大地盤反力度の上限値 p_a 目安とする値		
岩盤の種類	p_a (kN/m ²)	q_u (MN/m ²)	E (MN/m ²)
硬岩	亀裂が少ない	2500	10以上
	亀裂が多い	1000	500未満
軟岩・土丹		600	1以上
q_u : 一軸圧縮強度, E : 孔内水平载荷試験による変形係数 ※レベル1地震時は、常時の1.5倍の値とする。			
ケーソン基礎	規定なし		
深礎基礎	H14道示では体系的な設計法の規定がない。		

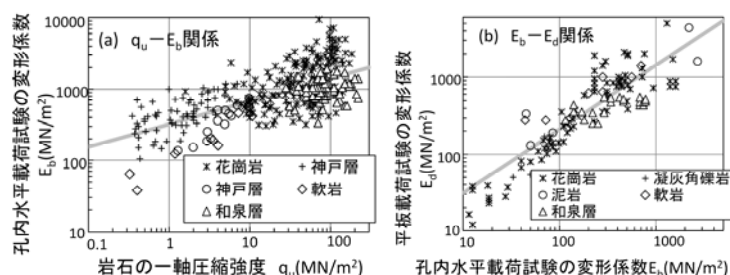


図-1 各種試験値の相関関係図の一例 3)を一部加筆

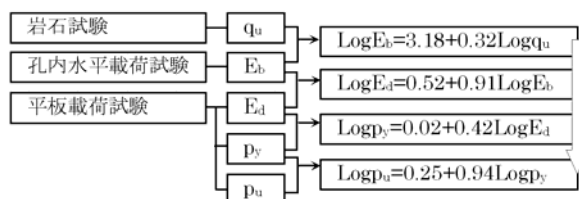
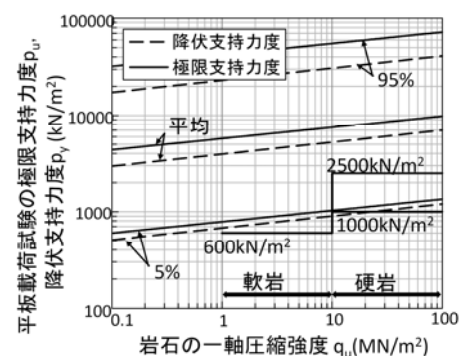


図-2 各種試験値の関連性と回帰式 3)を一部加筆

図-3 q_u と p_y ・ p_u 関係 3)を一部加筆

キーワード 岩盤, 最大地盤反力度の上限値, 直接基礎, ケーソン基礎, 深礎基礎

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 独立行政法人土木研究所 TEL 029-879-6773

裂の少ない硬岩” については平均値に安全率を考慮すれば十分安全側であると考えられるため極限支持力度の平均値の1/3を常時の最大地盤反力度の上限値として提案している。

3. 亀裂の程度や深度を考慮した岩盤の極限支持力の評価

深度が深い岩は大きな土被り荷重により拘束され亀裂の影響等を受けにくい状況にあると推定されることから、深い基礎に対する上限値は、直接基礎に適用している値(表-1)よりも大きくできる可能性がある。前述した検討結果は、深度に関わらず全ての試験データを整理されたものであることから、各種試験値を深い位置と浅い位置とで試験したものに区分し、同様に相関関係を整理した(図-4、図-5)⁴⁾。ここで、深度は既往の実績¹⁾より、深い基礎が5m以深で採用されることが多いことから5mを区分の目安とした。このように図-5の手順で一軸圧縮強度 q_u から極限支持力度 p_u を推定した結果を図-6に直線(B)・(C)で示す。図中には、载荷試験により直接 p_u - q_u 関係が得られている場合には、その試験値もプロットした。また、直線(B)・(C)の勾配に合わせて、深い位置(□と○と◇)と浅い位置(■と●と◆)それぞれの試験値の下限値まで下げた直線(B')・(C')をあわせて示す。図-4より、深い位置の試験値は、浅い位置の試験値と比べると全体的に極限支持力度が大きい傾向にある。また、深い位置の試験値は亀裂の多い場合(◇)と少ない場合(○)による極限支持力の差は少ない一方で、浅い位置の試験値は亀裂の多い場合(◆)と少ない場合(●)による差が大きく表れている。さらに、亀裂の少ない硬岩(○と●)は、深い位置と浅い位置の試験値で有意な差は認められない。

4. 最大地盤反力度の上限値の提案 以上の結果を踏まえて、浅い基礎と深い基礎に適用する最大地盤反力度の上限値をそれぞれ設定する。最大地盤反力度の上限値は、長期荷重に対して十分な安全余裕が担保されるように、極限支持力度に安全率3を担保した値として設定する。このとき、岩盤は非常にばらつきが大きいので、極限支持力度の平均値(図-4(B) (C))に安全率3を確保した場合でも必ずしも弾性範囲内に収まらないことも想定される。このため、安全側を考慮し、直接的に p_u - q_u 関係が得られているそれぞれの試験値の下限値(図-4(B') (C'))を基準にして、そこから安全率3を確保した値(図-4(B'') (C''))を最大地盤反力度の上限値とした。表-2に提案した値を示す。浅い基礎については、結果的にH14道示の値と同値となった。一方、深い基礎に用いる上限値は、直接基礎よりも3倍程度大きく評価できることとなる。なお、亀裂の少ない硬岩は、深度に関わらず大きな差がなかったことを踏まえて、深度により区分していない。

5. おわりに 既往の载荷試験や岩石試験を収集・分析して、統一的な設定の考え方に基づく、直接基礎・ケーソン基礎・深礎基礎が岩盤上に設置された場合の最大地盤反力度の上限値を提案した。

参考文献 1)中谷ら:構造物基礎形式の選定手法調査,土研資料 4037号,2007.2. 2)東日本/中日本/西日本高速道路株式会社:設計要領第二集橋梁建設編,2011.7. 3)岡原ら:岩盤上の直接基礎の鉛直支持力推定法に関する研究,土研資料 2512号,1987.11. 4)中谷ら:岩盤上の直接基礎の鉛直支持力推定法に関する研究,土研資料 4222号,2012.3.

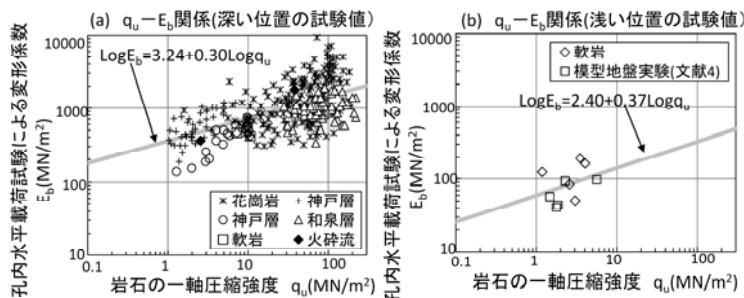


図-4 各種試験値の相関関係図の一例

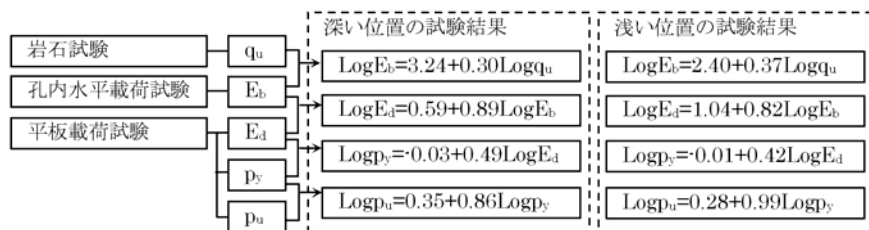


図-5 各種試験値の関連性と回帰式

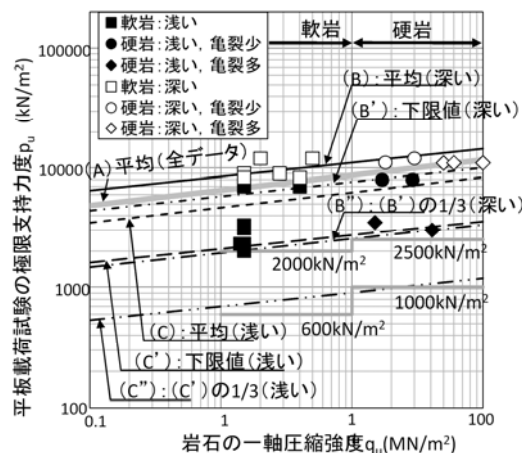


図-6 q_u - p_u 関係(深度を区分した整理結果)

表-2 最大地盤反力度の上限値の提案値(常時)

岩種	$p_a = p_u/3$ (kN/m ²)		q_u (MN/m ²)	E (MN/m ²)
	浅い基礎	深い基礎		
硬岩	亀裂少	2,500	10 以上	500 以上
	亀裂多	1,000		500 未満
軟岩	600	2,000	1-10	

p_u : 極限支持力度, p_a : 最大地盤反力度の上限値

q_u : 一軸圧縮強度, E: 孔内水平载荷試験による変形係数

※レベル1地震時は、常時の1.5倍の値とする。