

# 明治以降の土木史跡の建設材料の強度特性

防衛大学校 ○林 千賀・正垣 孝晴

## 1. はじめに

我が国には、江戸期から建設された近代土木遺産が数多く残されている。これらの土木史跡の中には文化・制度を含む我が国の存亡や近代化に大きな役割を果たした施設があるが、地盤工学の視点で、実測や関連資料の収集を伴う技術史的評価の検討は十分ではない。著者らは明治期以降の土木史跡の建設材料の強度を測定して、それらの評価・修復方法の分析のため、建設年代や施設の用途、材質等を検討している<sup>1)</sup>。本稿は、コンクリートと煉瓦の強度を測定し、我が国の20の土木史跡の建設材料の強度特性を検討する。

## 2. 対象施設と調査の方法

従来の研究対象を含め、調査位置と構造物の概要を図-1と表-1に示す。本稿は、千代ヶ崎砲台、防衛大学校受電所と横須賀6号ドライドックで使用されたコンクリートと千代ヶ崎砲台と第一海堡で使用された煉瓦を中心に述べる。

RHT (JGS 3411)<sup>2)</sup>は、コンクリート及び煉瓦の表面をリバウンドハンマーで打撃することによって得た反発度から強度を測定する非破壊試験である。一軸圧縮試験 UCT<sup>3)</sup>は、ひずみゲージを供試体の軸方向に2、円周方向に2の計4個貼り付け、0.6N/mm<sup>2</sup>/secの応力制御でせん断した。

## 3. 明治以降の建設材料の強度特性

著者ら<sup>1)</sup>が検討してきた明治以降の土木史跡の建設材料の強度を含め、岩石、コンクリート、煉瓦の3種類の建設材料の強度特性を比較する。図-2は、一軸圧縮強さ $q_u$ と供試体の乾燥密度 $\rho_d$ の関係である。横須賀6号ドック(コンクリート)の $q_u$ は同じ $\rho_d$ 下で大きい。建設材料の種類に関わらず $\rho_d$ とともに $q_u$ が大きくなっている。特に煉瓦は1.6~1.7g/cm<sup>3</sup>と小さく、 $q_u$ も9.5N/mm<sup>2</sup>程度と小さい。

図-3は、応力の最大値に対する応力の比 $\sigma/\sigma_{max}$ が0.5におけるポアソン比 $\nu (= \nu_{50})$ を $q_u$ に対しプロットしている。 $\nu_{50}$ は0.1~0.3の範囲にあり、この値は材料や $q_u$ に依存していない。

図-4は、コンクリートに対してRHTで得た強度 $S_R$ を建設年に対してプロットしている。赤い点線で囲ったプロットは、小樽湾南防波堤の天端であり、風化が進んでいるため強度が小さい。第1海堡(+), 猿島(x), 因島(▼), 相生(□)は、測定箇所が本体施設の付属の部材であり、また、風化の進んだ施設の一部であったことが、低めの $S_R$ を示した理由である。これらを除いたプロットは、右下がりの傾向があり、古い年代の施設のコンクリートの $S_R$ が大きい。図-4には阪神淡路大震災の発生年(1995年)に破線を描いているが、構造物としての基準による設計変更は、コンクリート材料には及んでいないことが分かる。



図-1 調査位置

表-1 対象施設の概要

Prefecture	No	Name of facility	Material	Construction year	Facility use
Kanagawa	1	Yokosuka dock No.3	andesite	1871	dry dock
Kanagawa	2	Monkey turret	A,C,B	1884	Turret
Chiba	3	1st fortress	A,C,B	1890	Turret
Kanagawa	4	Chiyogasaki Turret	A,C,B	1895	Turret
Nagasaki	5	Ishiharadake Baluarte	A,C,B	1899	Fortress
Kyoto	6	Maizuru	granite	1901	dry dock
Hyogo	7	Aioi dock	sand stone	1912	dry dock
Kagawa	8	Innoshima dock	granite, C	1912	dry dock
Chiba	9	2nd fortress		1914	Turret
Kanagawa	10	3rd fortress	concrete	1921	Turret
Nagasaki	11	Hario sending station		1922	Sending station
Hokkaido	12	Otaru Canal	granite	1923	Revetment
Kanagawa	13	Building No.5	concrete	1955	Research Building
	14	4 Brigade		206	Student Building
	15	1 Brigade		2012	Student Building
	16	Student Cafeteria		2013	Canteen
	17	Public bath		2017	Bath
Hiroshima	18	Kure dock	granite	2017	keel blocks
Nagasaki	19	Sasebo dock	granite	2017	keel blocks
Kanagawa	20	Manazuru	andesite	Origin	quarry

A: andesite, C: concrete, B: brick

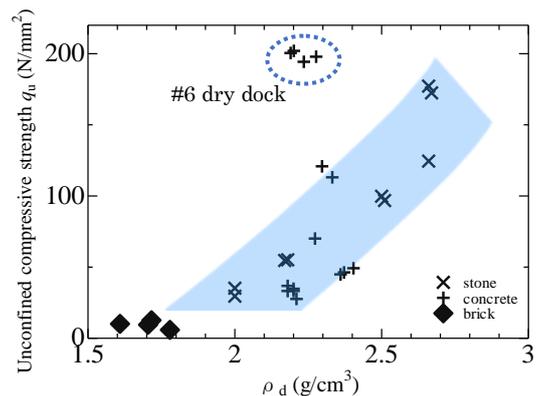


図-2 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

キーワード 土木史跡, 建設材料, 一軸圧縮試験, リバウンドハンマー試験, 強度特性

連絡先 〒239-0811 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 TEL : 046-841-3810 E-mail : shogaki@nda.ac.jp

図-5 は、石材と煉瓦の  $S_R$  を建設年に対してプロットしている。石材は安山岩 (Andesite)、花崗岩 (Granite)、砂岩 (Sand stone) に分類されるが、真鶴 (○) を除き建設年に関係なく同等な  $S_R$  と判断される。真鶴 (○) は、石材産地の原石として測定した凝灰質安山岩を含むために  $S_R$  が小さい。しかし、建設資材として成形された石材の  $S_R$  は他の施設のそれらと同等である。青い点線で囲ったプロットは煉瓦である。煉瓦は施設に関係なく岩石に比べて小さい強度を示している。煉瓦の製造年が限定 (1890 年頃) されているため、最近の煉瓦を含めた今後の詳細な検討が必要である。

図-6 は、 $q_u$  に対する  $S_R$  の比を  $q_u$  に対してプロットしている。RHT から得た  $S_R$  は、 $q_u \approx 45 \text{ N/mm}^2$  を境に、その下と上の領域で  $q_u$  に対して、それぞれ過小と過大評価している。プロットを近似する式を図中に併記している。 $r$  は相関係数であるが、0.976 と高い。

RHT は原位置における岩石、コンクリートや煉瓦等の力学特性を簡易的に推定する方法として、ダム基礎、原子力発電所基礎地盤、トンネル、地下空洞等の岩盤構造物の調査・設計等の事前評価や施工管理に多用される試験法である<sup>2)</sup>。ASTM D 5873<sup>4)</sup> は、軟質や硬質の岩石・岩盤に RHT を適用する場合の制限を認め、 $q_u=1 \sim 100 \text{ N/mm}^2$  の範囲が適しているとしている。斉藤・阿部<sup>5)</sup> は、安山岩、玄武岩、石英質の閃緑岩と安山岩に対する結果から、 $q_u=200 \text{ N/mm}^2$  を超える石材の  $S_R$  は一定になり、地盤工学会<sup>2)</sup>はこの境界値を  $100 \text{ N/mm}^2$  としている。これらのことは、 $S_R$  の結果の評価を慎重に行う必要性を示しているが、図-6 に示した回帰式は岩石・コンクリート・煉瓦の材料に関係なくよく説明できていることは、文化財の調査法として RHT の有効性を示している。

4. おわりに

表-1 に示す 20 施設のコンクリート強度は、古い年代の施設の  $S_R$  が大きい。阪神淡路大震災の発生年 (1995 年) の構造体としての基準による設計変更は、コンクリート材料には及んでいないことが分かった。一方、石材強度は、岩質や建設年に関係なく同等であったが、施設が求める強度に応じて岩石を選んだことが推察された。煉瓦は 3 つの建設材料の中では強度は低いが、ばらつきが少なく安定した品質であった。RHT で得た  $S_R$  は、図-6 に示した回帰式を用いることで岩石・コンクリート・煉瓦の供試体で得た  $q_u$  に換算できる。このことは、文化財調査としての RHT の有効性を示している。

参考文献

- 1) Hayashi, C. and Shogaki, T.: Strength properties of stones used in Tokyo Bay Fortresses, The Intnat. Conf. of ICOFORT, pp.1-13, 2018.
- 2) 地盤工学会, 地盤工学会基準「岩盤のシュミットハンマー試験方法」(JGS 3411-2012) pp.433-447, 2013.
- 3) 地盤工学会, 地盤工学会基準「岩石の一軸圧縮試験方法」(JGS2521-2009).
- 4) ASTM: Standard Test Method for Deformation of Rock Hardness by Rebound Hammer Method, D5873, 1973.
- 5) 斉藤徳美・阿部司:シュミットハンマーによる風化火成岩の反発度について, 物理探査, 26, 1, pp. 19-31, 1973.

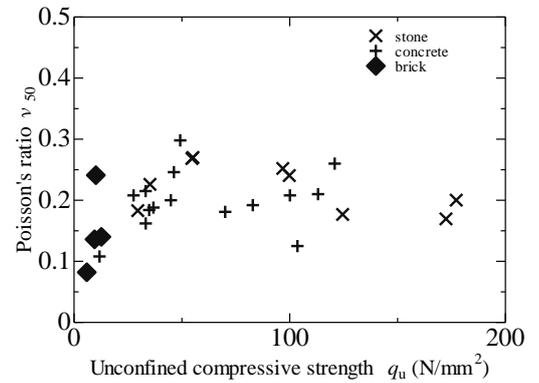


図-3 ポアソン比と一軸圧縮強さの関係

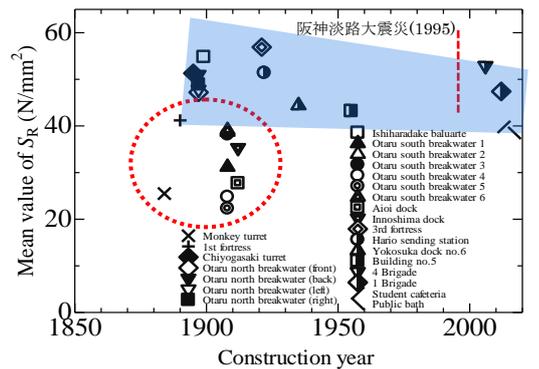


図-4 コンクリートの建設年代と強度

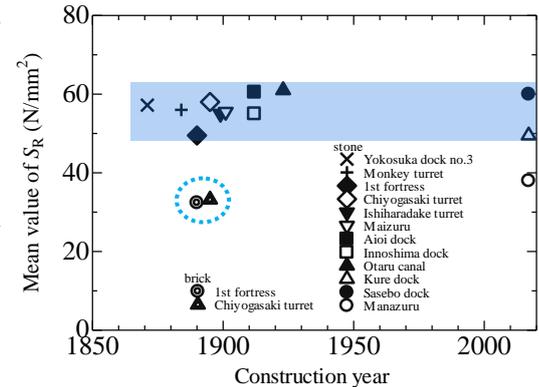


図-5 岩石と煉瓦の建設年代と強度

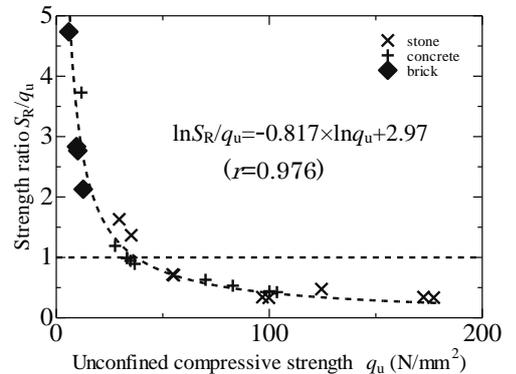


図-6  $S_R/q_u$  と  $q_u$  の関係