

リバウンドハンマー試験の土木史跡への適用

Eurasian National University 正垣 孝晴

陸上自衛隊 林 千賀, 防衛大学校 黒田 一郎

1. はじめに

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、建設年代や施設の使用、材質等を検討している^{1)~5)}。本稿は、このような研究の一環として、千代ヶ崎砲台の高塁道、第一掩蔽部、第二隧道のコンクリート強度をリバウンドハンマー試験 RHT (JGS 3411)と一軸圧縮試験 UCT (JIS A1107)から測定して、非破壊検査としての RHT の活用の方向を検討する。

2. 千代ヶ崎砲台の概要、コンクリート強度の測定方法と結果

千代ヶ崎砲台は、東京湾口を防御する観音崎砲台の援護や浦賀湾前面海域と久里浜に上陸した敵に対する防御を目的とした堡塁であり、浦賀駅南の千代ヶ崎に位置している (明治 28 年竣工)。同砲台は、諸施設の機能が充実した歴史的価値の高い遺構である⁶⁾。

千代ヶ崎砲台の RHT と UCT の結果を表-1 に示す。JIS は日本産業規格、MLIT は国土交通省であり、それぞれ 9 カ所と 20 カ所の異なる測定点で、地盤工学会基準 (JGS 3411-2012) に従って測定した。Single は、文化財等の試験時の損傷防止を考慮して、MLIT の 18 番目の測定点を複数回打点する方法²⁾である。また、UCT は、コンクリート天井壁からドリルで削り抜いたコアから得た直径 66mm、高さ 35mm の供試体に対する結果⁷⁾である。

図-1 は、千代ヶ崎砲台の高塁道のコンクリート床に対する RHT による強度 S_R を測定位置に対してプロットしている。

MLIT と JIS の S_R の平均値 \bar{S}_R である 45.3 N/mm² と 41.2 N/mm² (表-1) に対する Single のそれは、59.9 N/mm² と大

表-1 RHT と UCT の結果 (千代ヶ崎砲台)

Facility			RHT			UCT ⁷⁾		
			n	Mean (N/mm ²)	V/S _R (%)	ρ_d (g/cm ³)	q_u (N/mm ²)	E_{30} (kN/mm ²)
高塁道	Ceiling	Single	8	56.1	4.4	2.41	20.2	25.3
		Single	8	59.6	4.8			
		Single	8	56.2	14.2			
		Single	8	56.0	6.8			
		Single	9	60.6	6.3			
	Floor	MLIT	20	45.3	7.5			
		JIS	9	41.2	8.5			
第一掩蔽部	Ceiling	Single	8	44.5	8.3	2.29	21.6	23.9
		Single	8	49.3	10.9			
		Single	8	49.3	10.2			
		Single	8	43.6	11.5			
		Single	9	45.2	10.4			
	Floor	MLIT	20	47.3	10.2			
		JIS	9	52.6	5.7			
第二隧道	Ceiling	Single	8	59.6	6.4	2.36	24.1	24.6
		Single	9	59.4	8.2			
		Single	8	51.9	5.8			
	Floor	MLIT	20	21.8	11.5			
		JIS	9	26.6	4.8			
		Single	8	34.2	1.8			

n: Number of test, Mean: Mean value of S_R , V/S_R: Coefficient of variation of S_R , ρ_d : Dry density, q_u : Unconfined compressive strength, E_{30} : secant Young's modulus.

第一弾薬庫 天井

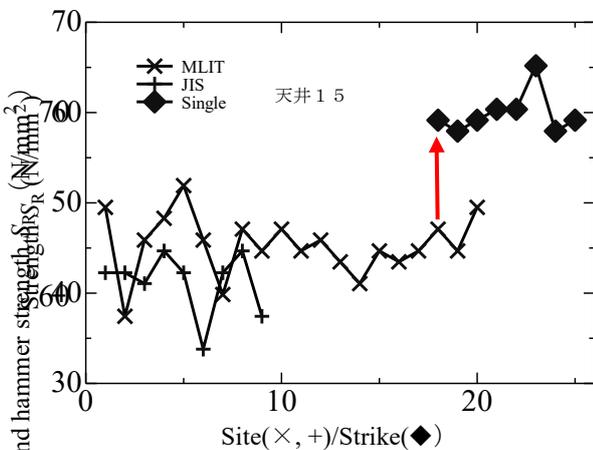


図-1 RHT の結果 (高塁道: 床)

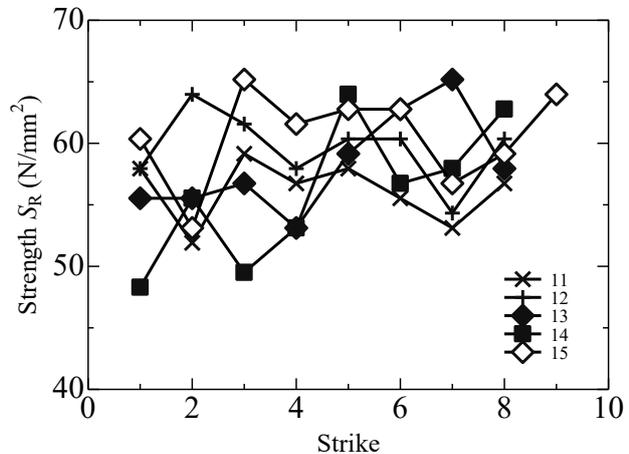


図-2 RHT の結果 (高塁道: 天井)

〒239-0808 横須賀市大津町 技術士事務所 E-mail: shogaki.takaharu1111@outlook.com

きい。前者の強度が小さいのは、RHTの打撃面であるコンクリート表面の凹凸や劣化に起因している。MLIT (×) の測定点 18 の場所に対する 2 打 (赤の矢印の先のプロット) 以降の 8 測定値が Single (◆) の結果であるが、Single の S_R はほぼ一定であり、RHT の 2 打以降にはコンクリート表面の影響は現れていないと判断される。

図-2 は同様に天井に対する RHT (Single) の結果である。天井面の初回の S_R は、2~9 回までの測定点に対する S_R と同様な値を示し、56.0~60.6 N/mm² の範囲内で安定している。そして、この値は床の Single の $S_R=59.9$ N/mm² と同等である。このことは、床面の凹凸や劣化が進行していることを示している。このような傾向は、第一掩蔽部と第二隧道でも同様である (表-1)。

天井のコンクリートコアから成型した供試体の一軸圧縮強さ q_u ⁷⁾ は、表-1 に示すように 20.2~24.1 N/mm² であり、測定した施設に関係なく同等の値である。しかし、第一掩蔽部の S_R は 46.4 N/mm² であり、高塁道 (同 57.7 N/mm²) と第二隧道の値 (同, 57.0 N/mm²) より小さい。前者の天井には、無数のヘアクラックが発生している⁵⁾。 S_R が他より小さいのはこのためであるが、このクラックに起因して S_R の変動係数 V_{S_R} の平均値 V_{S_R} (10.3%) も高塁道 (7.3%) と第二隧道の値 (6.8%) より大きい。しかし、これらの q_u には差が無いことから、このクラックは、コンクリート表面の限られた領域に留まり、その結果が内部には影響していないことが理解できる。

3. 強度特性と乾燥密度の関係、RHTの活用方策

図-3 は、 q_u を供試体の乾燥密度 ρ_d に対してプロットしている。千代ヶ崎以外のプロットは、既報⁴⁾ から得ている。コンクリート材としての千代ヶ崎 (☆) の q_u と ρ_d の関係は、第一海堡 (×) のそれらと同様である。

図-4 は、 S_R/q_u を q_u に対してプロットしている。RHT から得た S_R は、 $q_u \approx 45$ N/mm² を境に、その下と上の領域で q_u に対して、それぞれ過大と過小評価している。千代ヶ崎を除くプロットから得た近似式を図中に併記している。この式の相関係数 r は 0.976 と高い。千代ヶ崎の RHT は、この近似式より 0.5~1 倍程 S_R を過大に見積ることになる。図-4 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、試験時の損傷が許されない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

千代ヶ崎砲台のコンクリートの強度特性をリバウンドハンマー試験と一軸圧縮試験から明らかにした。 S_R/q_u と q_u の関係は、岩石・コンクリート・煉瓦の材料に関係なく同じ回帰式で示され、試験時の損傷が許されない文化財の調査法として RHT の有効性が確認できた。千代ヶ崎砲台の調査にご協力頂いた横須賀市教育委員会の川本真由美様に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 正垣孝晴：近代日本の土木遺産の地盤工学的分析と保存，地盤工学会誌，Vol.62, No.4, pp.1-5, (2014).
- 2) Shogaki, T. and Inaba, Y.: Strength of construction materials at historical civil engineering sites built since the Meiji era, The Intnat. Conf. of 16th ARC, 2018.
- 3) Hayashi, C. and Shogaki, T.: Strength properties of stones used in Tokyo Bay Fortresses, The Intnat. Conf. of ICOFORT, pp.1-13, 2018.
- 4) 正垣孝晴・黒田一郎・林千賀・野口孝俊：第一海堡の建設材料の強度特性，第75回年次学術講演会，V-163, 2020.
- 5) 正垣孝晴・林千賀：明治以降の土木史跡の建設材料の強度特性，防衛大学校理工学研究報告，Vol.56, No.2, pp.31-40, 2019.
- 6) Yanai, H.: The construction process of the Tokyo Bay fortress, and the change of a battery construction technology and material, The Intnat. Conf. of ICOFORT, pp.1-6, 2018.
- 7) 横須賀市教育委員会，史跡東京湾要塞跡 千代ヶ崎砲台跡—史跡整備事業に伴う資料収集調査—，2020.

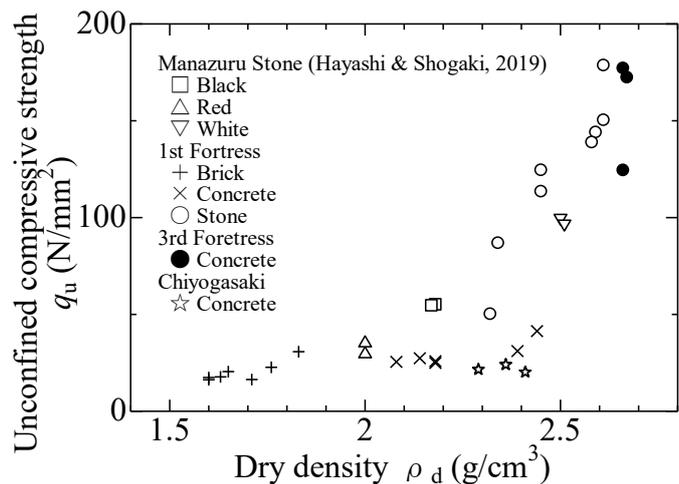


図-3 q_u と ρ_d の関係

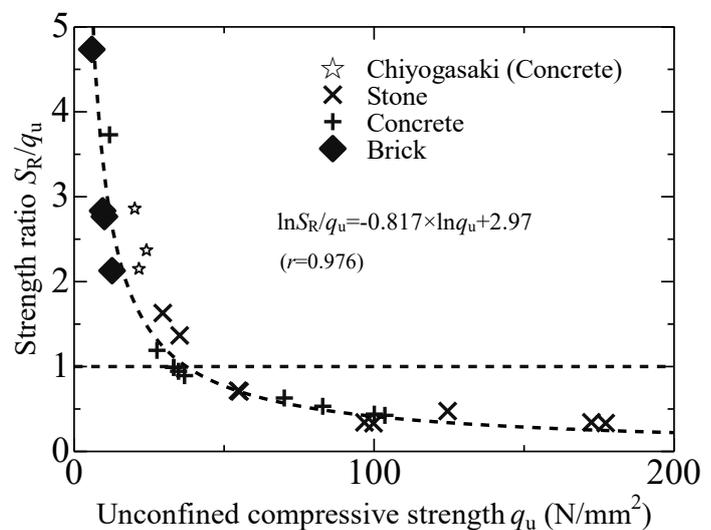


図-4 S_R/q_u と q_u の関係