

明治以降の土木施設のコンクリート強度

正垣 孝晴 (地盤工学研究所)

因幡 裕 (警視庁), 林 千賀 (陸上自衛隊)

黒田 一郎 (防衛大学校)

1. はじめに

明治以降に建設された土木史跡の維持・管理、保存・修復・復元に関する研究の一環として、建設材料の強度特性を検討している。本稿は、明治以降の土木・建築構造物のコンクリート強度をリバウンドハンマー試験 RHT で調べた。

2. 対象施設と検討方法

研究対象として表-1 に示す 21 施設を選定した。施設名の後の記号 (●) は、無筋コンクリートを意味し、この記号が無い施設は、鉄筋コンクリートである。14 までが土木史跡、15 以降が建築構造物である。前者としては 1884 (明治 17) 年に竣工した猿島要塞から横須賀 6 号乾ドック (1940 (昭和 15) 年竣工)、後者は防衛大学校の各種施設と個人の住居である。建築構造物は、土木施設との比較として検討している。これらは、現存する土木史跡や使用中の施設であることから、非破壊試験としての RHT で強度 S_R を測定した。国土交通省 (MITI 61) と日本産業規格 (JIS A1155) が規定する RHT の方法は、打撃の初期の S_R が材料本来の値を過少評価することが判っている。このため、MITI 61 の 18 番目の同じ位置を S_R が収束するまで打撃した。この方法は一点法 (Single) ²⁾ として、土木史跡の非破壊試験法として、その有効性が判っている。

図-1 は花立新砲台観測所の S_R と打点の関係である。図中の赤の矢印以降のプロットが、Single の結果であり、各方法の平均値 S_R を図中に () で示している。Single の S_R は 53.5 N/mm^2 であるが、MITI 61 と JIS A1511 の S_R は、それぞれ 42.6 N/mm^2 と 37.9 N/mm^2 の同等の値であり、これらは Single の 75% 程度の値である。MITI 61 と JIS A1511 は 1 打した測定結果であり、測定面の劣化等の影響を受けているのが理由である。このような傾向は、砂岩 ³⁾ に対しても確認されている。図-2 は個人住居の門扉擁壁に対する RHT の結果である。Single の S_R は 54.6 N/mm^2 であり、MITI 61 や JIS A1511 との関係は、図-1 と同様である。

3. 第三海堡のコンクリート強度

図-3 は第三海堡遺構の RHT 結果であり、Single の平均値をプロットしている。第三海堡は、東京湾口 (横須賀市) に 1921 (大正 10) 年に竣工した人工島 (砲台) であるが、竣工 2 年後の関東大震災により施設の大部分が海中に没し、砲台としての機能を失った。東京湾航路に近くその要衝部解消のために、-23m まで人工島を含む施設等が撤去され、兵舎は横須賀市のうみ風邪公園に、また探照灯、観測所、砲台砲側庫は、同夏島都市緑地に保存展示されている。したがって、これらの施設は海中に 77 年、地上に 19 年 (2018 年の測定時) 存在したことになる。 S_R は $47 \sim 60.7 \text{ N/mm}^2$ の範囲にあり、施設による特徴的な差は無いと判断される。

測定番号 1 と 13 は、探照灯と兵舎の屋根の削孔内面の S_R であり、両者とも 60 N/mm^2 の値を示している。この孔は、施設を現地から牽引する際の強度把握のために削孔されたものであり、その内面は風化や劣化のない新鮮な状態であった ⁴⁾。これらは、異なった構造物であり、同等の S_R であることから、コンクリート材料も施工方法も同様であったことが推察される。また、これらの値より小さいプロットは、測定箇所劣化を反映していると推察している。

4. 各種施設のリバウンドハンマー強度

図-4 は、表-1 に示す各施設の S_R を竣工年に対してプロットし

表-1 施設の所在地と竣工年

番号	施設名 (●: 無筋コンクリート)	所在地	竣工年
1	猿島要塞●	神奈川県	1884
2	第一海堡●	千葉県	1890
3	千代ヶ崎砲台●	神奈川県	1895
4	石原岳堡壘砲台●	長崎県	1899
5	横須賀 4 号乾ドック●	神奈川県	1905
6	小樽北防波堤	北海道	1908
7	相生乾ドック	兵庫県	1912
8	因島乾ドック	香川県	1912
9	第二海堡●	千葉県	1914
10	横須賀 5 号乾ドック●	神奈川県	1916
11	第三海堡●	神奈川県	1921
12	針生送信所	長崎県	1922
13	花立新砲台観測所	神奈川県	1938
14	横須賀 6 号乾ドック●	神奈川県	1940
15	防衛大学校旧 5 号館	神奈川県	1953
16	個人住居	神奈川県	2004
17	防衛大学校学生舎 (四)	神奈川県	2006
18	防衛大学校学生舎 (二)	神奈川県	2012
19	防衛大学校学生舎 (一)	神奈川県	2012
20	防衛大学校食堂	神奈川県	2013
21	防衛大学校浴場	神奈川県	2017

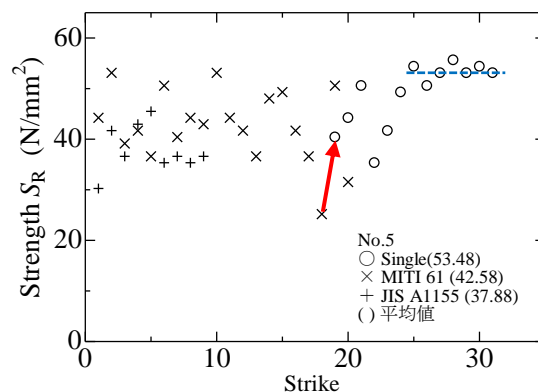


図-1 RHT の強度と打数の関係 (花立新砲台)

キーワード: 土木史跡, コンクリート強度, リバウンドハンマー試験, 建築構造物

連絡先: 〒239-0808 横須賀市大津町 地盤工学研究所 E-mail: shogaki.takaharu1111@outlook.com

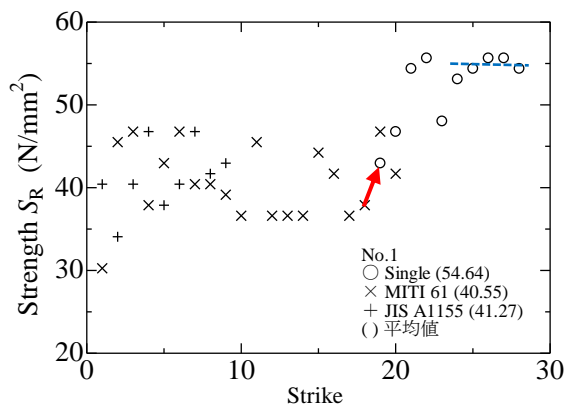


図-2 S_R と打数の関係（個人住居）

ている。これらの施設は、明治から平成までの時代に設置されているが、土木施設の設置は、戦争等の国策の影響を受けていることが判る。建築用のコンクリートは施工性を考慮して水セメント比 W/C が大きいことが知られているが、2013年と2017年の防衛大学の食堂と浴場の S_R が小さいのは、この影響を反映している可能性がある。しかし、これを除くプロットの S_R は、35~60 N/mm^2 の範囲にあり、施設による特徴的な差も認識できない。133年の期間のコンクリート構造物の S_R が同等であることから、昭和の“いざなぎ景気”や“第一次石油危機”等の高度経済成長期の劣悪な材料等の影響のないコンクリートを用いて適切な施工が行なわれていることも推察される。

5. リバウンドハンマー試験と一軸圧縮試験の強度

図-5は、 S_R と一軸圧縮強度 q_u の関係である。表-1の施設の中で S_R と q_u が共に測定されている結果のみを整理している。横須賀6号乾ドックは、 S_R が42 N/mm^2 に対して、 q_u は70~102 N/mm^2 と前者が小さい。しかし、他の施設では、RHTによる S_R が q_u より大きい。コンクリート強度を支配する主因に W/C がある。表-1の施設の中でこの値が示されている小樽防波堤、第二海堡、第三海堡、花立の中で、第二海堡の W/C は40~43%と小さく、花立のそれは66%と大きい。一方、第二海堡を除く骨材の割合 R_A は72~92%の範囲にある。花立新砲台観測所の q_u (S_R)が、第二海堡のそれらより大きいのは、 W/C より、第二海堡の R_A が80%と骨材量が多いことを反映している可能性もある。一方、第二海堡のコンクリートは、中性化がほとんど進んでいないことは確認している。第二海堡の強度の解釈は間隙径の測定を含む今後の検討が必要である。

6. おわりに

RHTと一軸圧縮試験の強度の関係とRHTの利用法は、今後の q_u 等の測定を踏まえて慎重に検討することになる。本研究にご協力頂いた関係各位に深甚の謝意を表す。

参考文献 1) Shogaki, T. and Nakano, Y.: Geotechnical investigation of the Naval dry dock at the Mietsu Naval Facility World Heritage Site, Japan, *Soils and Foundations*, 62, 1-19, 2022. 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) 松倉公憲・青木久：シュミットハンマー：地形学における使用例と使用法にまつわる諸問題，*地形*，第Vol. 25，第2号，pp.175-196, 2004. 4) 因幡裕・正垣孝晴：第三海堡遺構コンクリートの強度，第45回土木学会関東支部技術研究発表会，V-8, 2019. 5) 小林一輔：コンクリートが危ない，岩波新書616, 1999. 6) 国土交通省関東地方整備局 東京湾口航路事務所，令和三年度東京湾中央航路付帯施設検討他調査報告書，2022. 7) Sawaki, D., Tanaka, S., Kuroda, I., and Yonekura, A.: Characteristics of concrete in two structures completed about seventy years ago, *Journal of advanced concrete technology*, Vol. 7, No.3, 375-384, 2009. 8) 国土交通省 関東地方整備局 東京湾口航路事務所，東京湾第三海堡建設史，2005.

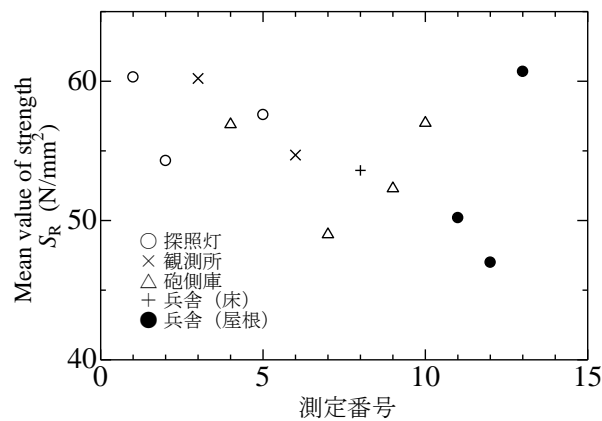


図-3 施設毎の S_R （第三海堡）

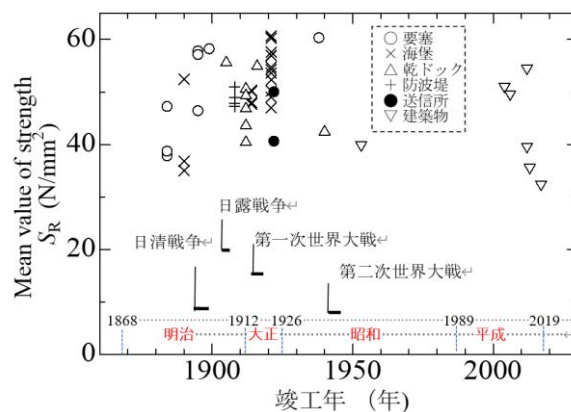


図-4 施設による S_R

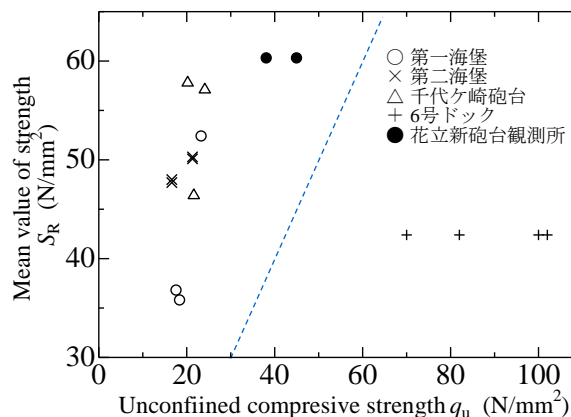


図-5 一点法の S_R と q_u の関係