

明治以降の土木史跡のコンクリート・石材・煉瓦の強度

防衛大学校 因幡裕・正垣孝晴

1. はじめに

我が国には、江戸期から建造された近代土木遺産が数多く残されている。これらの土木遺産の中には、横須賀ドライドックのように、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¹⁾。しかし、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を行う検討は十分ではない。また、技術的変遷を系統的に扱った研究も少なく、文化財的価値付けが行われぬまま土木史跡が失われる現実もある。一方、土木史跡の保存修復においても、適切な視点や調査手法を持ち合わせていないままに、修復が進められる事実もある。各時代の土木遺産の評価、修復方法の検討では、技術書全体の把握を踏まえた技術発展経過の考察が必要であるが、十分とは言えない。著者らは、明治以降の土木史跡の建設材料の強度として、11施設のコンクリート・石材・煉瓦の強度をリバウンドハンマー試験

(RHT) から測定²⁾して、その内の第三海堡遺構コンクリートに対しては、コンクリート表面の測定強度は、内部の強度より小さく、同じ位置に対する6打点の測定値からコンクリート内部の強度を推定する方法³⁾を提案した。

本稿は既報と同じ視点で、明治以降の土木史跡のコンクリート・石材・煉瓦の強度を検討する。調査対象の施設は、堡塁・砲台・ドライドック・護岸であり、調査位置と構造物の概要を表-1と図-1に示す。これらの施設は明治4(1871)年に開渠した石造の横須賀1号ドライドックから、平成29(2017)年の防衛大学校(コンクリート)の146年間に亘る20施設である。これらの施設は、関東地方を中心にして小樽から熊本に分布している。対象とする建設材料は、石・コンクリート・煉瓦の3種類であるが、それらの強度はRHTによって現地で測定した。

2. 対象施設と調査の方法

RHT(JGS 3411)⁴⁾は、15~50 cmの測定面内で9点以上の測定点を設けることになっている。また、測定点付近に1mm以上の凹凸がある場合は、グラインダーや砥石等で凹凸を1mm未満に成形することになっている。しかし、本稿が対象とする施設は、日本遺産や国指定の文化財等の史跡であるので、石材の表面加工に加え、材質変化や損傷に繋がる異なる位置での多点測定は許されない。したがって、測定点は対象材料を代表する位置を目視により決めて、同じ位置を6回打撃して測定した。

凹凸がRHTの測定結果に影響していると判断されるデータは、それを除いたハンマー反発度の平均値をテストハンマー強度 S_R に換算した。RHTの打撃は、測定面に対して垂直に行うが、打撃方向によるハンマーの反発度の補正は、JGS 3411⁴⁾に従った。

3. コンクリート強度の変遷

コンクリートの対象施設と S_R を表-2に示す。 \bar{S}_R , σ , V は、それぞれ S_R の平均値、標準偏差、変動係数を示す。図-2は、表-2に示す S_R を建設年に対してプロットしている。コンクリートの場合、1打による S_R はコンクリート内部の強度を過少評価するので、図-2の S_R は、先に提案した方法を用いて6打から推定したコンクリート内部の強度をプロットしている。第1海堡(+), 猿島(x), 因島(▲), 相生(△)は、測定箇所が脆弱な部材(+, ▲, △)であり、風化の進んだ施設の一部(x)であったことが、低めの \bar{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 \bar{S}_R が大きい。図-2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、構造体としての設計

表-1 調査位置と建設年

Prefecture	No	Name of facility	Material	Construction year	Facility use
Kanagawa	1	Monkey turret	A, C, B	1884	Turret
Chiba	2	1st fortress	A, C, B	1890	Turret
Kanagawa	3	Chiyogasaki Turret	A, C, B	1895	Turret
Nagasaki	4	Ishiharadake Baluarte	A, C, B	1899	Fortress
Kyoto	5	Maizuru	granite	1901	dry dock
Hyogo	6	Aioi dock	Sand stone	1912	dry dock
Kagawa	7	Innoshima dock	granite, C	1912	dry dock
Chiba	8	2nd fortress	Concrete	1914	Turret
Kanagawa	9	3rd fortress		1921	Turret
Nagasaki	10	Hario sending station		1922	Sending station
Hokkaido	11	Otaru Canal	granite	1923	Revetment
Kanagawa	12	Building No. 5	Concrete	1955	Research Building
	13	4 Brigade		2006	Student Building
	14	1 Brigade		2012	Student Building
	15	Student Cafeteria		2013	Canteen
	16	Public bath		2017	Bath
Hiroshima	17	Kure dock	granite	2017	keel blocks
Nagasaki	18	Sasebo dock	granite	2017	keel blocks
Kanagawa	19	Manazuru	andesite	Origin	Quarry

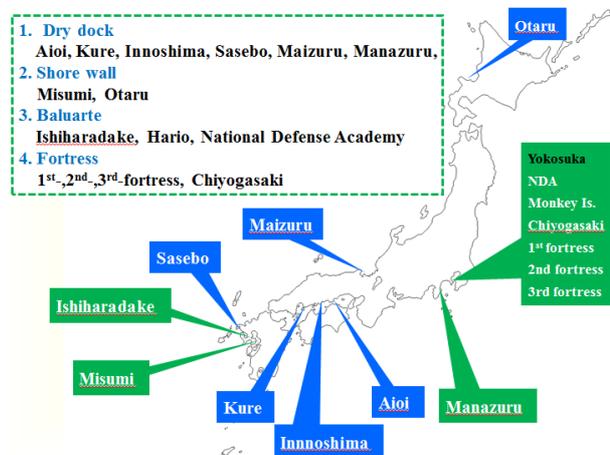


図-1 調査位置

キーワード 土木史跡 リバウンドハンマー試験 コンクリート 石材 煉瓦

連絡先: 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 TEL 046-841-3810

表-2 コンクリート強度の統計量

施設名	所在県	Site	材質	n(測定数)	$\bar{S}_R(N/mm^2)$	σ	$V_{S_R}(\%)$
第三海堡	神奈川県	観測所	Concrete	66(11)	54.1	8.8	16.3
		砲台砲側庫		66(11)	50.0	10.4	20.8
		探照灯		36(6)	50.0	10.5	20.9
		All		168(28)	51.6	9.7	18.7
猿島	神奈川県	ハンドホール		6(1)	15.9	2.8	17.3
		第二砲台観測所		19(3)	47.2	4.7	10.0
		第一砲座		21(3)	37.8	6.3	16.7
		第三砲座		13(2)	38.7	6.3	16.3
		All		59(9)	38.8	10.4	26.8
第一海堡		All		89(15)	29.9	12.3	41.1
千代ヶ崎		All		204(34)	47.9	10.5	22.0
石原岳堡壘	長崎県	All		18(3)	58.2	5.4	9.3
相生	兵庫県	All	11(4)	23.6	2.4	10.0	
因島	香川県	All	7(2)	31.3	18.2	58.0	
針尾送信所	長崎県	2号塔	27(4)	40.6	7.8	19.2	
		3号塔	16(3)	50.0	8.9	17.8	
		All	43(7)	44.5	9.1	20.3	
防衛大専校	神奈川県	1bn	66(11)	39.6	12.3	31.0	
		2bn	30(5)	54.5	5.0	9.1	
		5号館	24(6)	39.9	11.1	28.0	
		浴場	6(1)	32.4	6.2	19.2	
		食堂	6(1)	35.6	3.8	10.6	
		4bn	30(5)	49.5	6.5	13.2	
		All	138(23)	44.5	11.7	26.3	

表-3 石材強度の統計量

施設名	所在県	Site	材質	n(測定数)	$\bar{S}_R(N/mm^2)$	σ	$V_{S_R}(\%)$
猿島	神奈川県	電気灯 機間倉	安山岩	31(5)	54.6	8.8	16.2
		第一兵舎	安山岩	17(2)	56.4	9.8	17.3
		第二砲台観測所	安山岩	14(2)	53.8	9.3	17.4
		第二兵舎	安山岩	25(3)	56.0	9.4	16.9
		第三砲座	安山岩	13(2)	54.4	10.6	19.4
		海岸	安山岩	31(4)	60.9	12.0	19.7
		All	安山岩	131(18)	56.5	10.4	18.4
		第1海堡		All	安山岩	321(54)	49.8
千代ヶ崎		All	安山岩	87(14)	58.4	10.5	18.0
石原岳堡壘	長崎県	All	安山岩	101(20)	55.1	10.1	18.3
舞鶴石	京都府	t号ドック近くの護岸	花崗岩	22(4)	55.4	10.8	19.6
		2号ドック	花崗岩	15(3)	57.9	6.3	10.9
		3号ドック	花崗岩	29(5)	51.9	8.3	16.1
		舞鶴港護岸	花崗岩	15(3)	61.0	8.2	13.4
		All	花崗岩	81(15)	55.6	9.4	16.9
		相生	兵庫県	All	砂岩	32(11)	60.3
因島	香川県	All	花崗岩	23(4)	55.2	10.9	19.7
小樽	北海道	All	花崗岩	36(5)	61.1	8.5	13.9
呉	広島県	普通仕上げ	花崗岩	39(10)	49.8	11.4	22.8
		鏡面仕上げ	花崗岩	18(4)	71.9	3.1	4.3
佐世保	長崎県	5号ドック	花崗岩	61(10)	57.9	8.8	15.2
		6号ドック	花崗岩	24(4)	63.3	8.4	13.2
		All	花崗岩	85(14)	59.4	9.0	15.1
真鶴	神奈川県	All	安山岩	456(91)	37.9	15.9	42.0

表-4 煉瓦強度の統計量

施設名	所在県	Site	材質	n	$\bar{S}_R(N/mm^2)$	σ	$V_{S_R}(\%)$
猿島	神奈川県	第二砲台観測所	Brick	19 (3)	51.9	6.0	11.5
第1海堡	神奈川県			54 (9)	51.0	13.1	25.7
千代ヶ崎	神奈川県	All		144 (24)	48.7	10.5	22.9

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。

4. 石材と煉瓦の強度の変遷

石材の \bar{S}_R の統計量と、これら石材の建設年に対する \bar{S}_R を、それぞれ表-3 と図-3 に纏めた。石材は、表-3 に示すように安山岩 (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 \bar{S}_R と判断される。真鶴 (◆) は、産地の原石として測定した凝灰質安山岩を含むために \bar{S}_R が小さい。建設資材として成形された石材の \bar{S}_R は、同等である。呉の花崗岩 (▼) は、鏡面仕上げされている。RHTのプランジャーの先端は局面であるが、普通仕上げの石表面は、打撃により表面の凹凸が潰れ、平滑化する過程でプランジャー先端部と石の接触面積が増すことで、 \bar{S}_R が大きくなることに起因している。その結果として、 V_{S_R} が20%から3%程度に小さくなる。この石材は、戦艦大和を建造した旧呉海軍工廠の造船ドックの記念碑の前面と側面(鏡面)である。

表-4に煉瓦に対する \bar{S}_R の統計量を纏めた。 \bar{S}_R は50 N/mm²程度と施設や建設年に依存していない。これらの施設の建設年は、1884~1899年の15年間であり、この間の煉瓦は、製造法や品質が安定していることが分かる。

5. おわりに

主要な結論は、以下のように要約される。

- 1) コンクリート施設は、古い年代の強度が大きい傾向にあった。阪神淡路大震災の発生年(1995年)以降の構造体としての基準の変更は、コンクリート材料には及んでいないことが分かった。
- 2) 建設資材として成形された石材の強度 \bar{S}_R は、同等であった。普通仕上げの石表面は、打撃により表面の凹凸が潰れ、平滑化する過程でリバウンドハンマーのプランジャー先端部と石の接触面積が増すことで、 \bar{S}_R が大きくなることが分かった。

謝辞：RHTの測定にご協力頂いた関係各位に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 正垣：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) 正垣・因幡・奥田：明治以降の土木史跡の建設材料の強度，第14回地盤工学会関東支部発表会，pp.122-15, 2017.
- 3) 因幡・正垣：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, 2018.
- 4) (公社)地盤工学会：岩盤のシュミット式ハンマー試験方法 (JGS 3411-2012)，岩の調査と試験，pp.433-447, 2013.

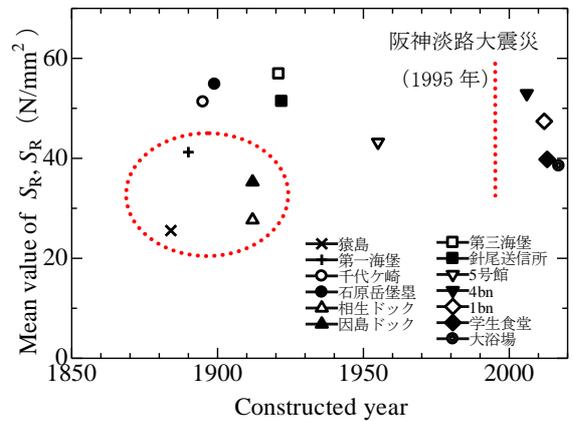


図-2 コンクリート強度と建設年の関係

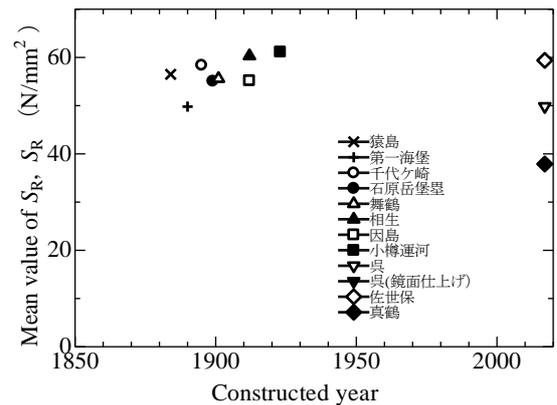


図-3 石材の強度と建設年の関係