

灯台のプロポーショナルに関する研究

名古屋市立大学大学院 学生会員 ○日高みなみ

名古屋市立大学大学院 非会員 青木 孝義

株式会社コンステック 正会員 佐藤 大輔

1. はじめに

一般に、煙突の形状は煙の拡散効果，吐出速度からその高さや頂部の外形が決定され，底部の外形は設計者の判断に任されることが多かった¹⁾．煙突と概ね同様のプロポーショナルを有していると思われる灯台も，航路標識という役割上，光達距離からその高さが決定される．日本で西洋灯台が建設されるようになった明治期当初は，波（風）圧力に対し，基礎が転倒しないように底部の外径（以下，下端外径という）が決定されていた²⁾．現在では，地震力も考慮され，許容応力度計算および保有水平耐力計算によって形状が決定されている³⁾．いずれにしても，初期計算に用いるプロポーショナルは，類似設計例の参照や設計者の経験によって仮定されている．竣工後 100 年以上が経過する灯台が地震や台風等による外力を経験しながらも現役で機能し続けていることから，設計者の経験によって決定されてきた形状は自然災害に耐えうるものであったと考えられる．

以上を背景として，本稿では，新設灯台の設計フロー効率化を目標に，現存する灯台のプロポーショナルから経験則の定式化を行うため，灯台の諸元の分析を行う．

2. 調査方法

2.1 調査対象

筆者らがこれまで研究対象としてきた灯台を調査対象灯台とした．また，明治期に建設された灯台については，「明治期灯台の保全⁴⁾」の中から抽出した．調査対象とする灯台の構造種別は，石造，煉瓦造，コンクリート造，鉄筋コンクリート造（RC 造）に限定した．なお，高さの半分以上が鉄造であるものは，対象外とした．

2.2 調査項目

調査項目は，躯体高さ，下端外径，下端壁厚とした．耐震補強等により断面が変化しているものは，既存断面の大きさとした．なお，図面が確認できるものは灯室床レベル（灯器が設置されている床レベル）を躯体の高さとし，確認できないもの（記述だけのもの）は，分銅筒の高さ+1FL あるいは石（煉瓦）積み高さ等を躯体高さとして採用した．下端外径は，1 階の外径あるいは灯塔基部（基礎部）の外径の大きさを採用した．下端壁厚についても同様である．

3. 調査結果

躯体高さおよび下端外径，下端壁厚が明らか

表 1 灯台の諸元

	竣工年	構造種別	躯体高さH(m)	下端外径D(m)	下端壁厚t(m)
1 明治期灯台1	1870	石	15.50	7.00	2.00
2 明治期灯台2	1870	石+RC	6.48	5.50	1.05
3 明治期灯台3	1871	石	3.60	6.00	1.20
4 明治期灯台4	1871	石	4.02	4.70	0.99
5 明治期灯台5	1872	石	3.41	4.60	0.93
6 明治期灯台6	1872	石	5.97	4.60	0.95
7 明治期灯台7	1872	石	3.50	4.67	?
8 明治期灯台8	1873	石	3.38	4.64	0.92
9 明治期灯台9	1873	煉瓦	5.90	5.55	0.52
10 明治期灯台10	1874	煉瓦	13.61	5.49	1.29
11 明治期灯台11	1874	煉瓦	23.77	7.26	2.12
12 明治期灯台12	1876	石	22.70	6.04	1.61
13 明治期灯台13	1876	煉瓦	25.00	6.80	1.62
14 明治期灯台14	1876	石	4.00	5.56	0.80
15 明治期灯台15	1878	石	13.00	5.50	1.40
16 明治期灯台16	1880	煉瓦	3.65	2.10	0.36
17 明治期灯台17	1881	石	3.47	5.96	0.72
18 明治期灯台18	1884	コンクリート	4.93	3.14	0.75
19 明治期灯台19	1894	石	1.97	2.60	0.65
20 明治期灯台20	1894	石	4.80	3.60	1.18
21 明治期灯台21	1894	石	3.65	3.40	1.10
22 明治期灯台22	1894	石	6.09	3.13	0.80
23 明治期灯台23	1894	石	1.81	2.64	?
24 明治期灯台24	1894	石	3.20	3.00	?
25 明治期灯台25	1895	石	10.64	3.78	0.97
26 明治期灯台26	1897	石	4.12	2.45	0.43
27 明治期灯台27	1898	石	6.57	5.70	1.00
28 明治期灯台28	1898	煉瓦	5.65	3.20	0.75
29 明治期灯台29	1898	石	4.50	3.10	0.65
30 明治期灯台30	1900	煉瓦	7.25	3.05	0.71
31 明治期灯台31	1903	石+煉瓦	58.58	8.12	2.48
32 明治期灯台32	1903	石	6.20	3.90	0.80
33 明治期灯台33	1904	石	32.70	7.62	2.02
34 明治期灯台34	1904	石	5.80	3.80	?
35 明治期灯台35	1909	石	5.92	2.10	0.27
36 明治期灯台36	1912	RC	14.10	3.32	0.66
37 灯台1	1914	RC	13.05	3.38	0.77
38 灯台2	1917	RC	15.85	4.59	1.10
39 灯台3	1917	RC	27.50	4.80	0.40
40 灯台4	1925	RC	12.30	3.40	0.49
41 灯台5	1925	RC	21.00	5.50	0.60
42 灯台6	1926	RC	20.00	5.00	0.60
43 灯台7	1927	RC	17.15	3.91	0.61
44 灯台8	1942	RC	4.37	1.80	0.30
45 灯台9	1951	RC	6.36	4.30	0.30
46 灯台10	1952	RC	8.40	2.20	0.25
47 灯台11	1958	RC	7.00	3.00	0.20
48 灯台12	1963	RC	7.05	2.38	0.18
49 灯台13	1971	RC	17.00	2.70	0.25
50 灯台14	1975	RC	8.00	1.00	中空でない
51 灯台15	1982	RC	9.90	4.50	0.75
52 灯台16	1985	RC	7.20	2.21	下半分中空でない

キーワード 灯台，プロポーショナル，躯体高さ，下端外径，経験則，定式化

連絡先 〒464-0083 愛知県名古屋市千種区北千種 2-1-10 名古屋市立大学大学院芸術工学研究科 Tel:052-721-1225

な灯台を表 1 に示す。表 1 中の明治期灯台 1~36 は、明治期灯台の保全⁴⁾から抽出したものである。サンプル数が 2 以上の構造種別を対象に、躯体高さ H 、下端外径 D 、下端壁厚 t の関係を図 1 から図 3 に示す。図 1 から図 3 中の近似式は、Y 軸の値を X 軸の値の一次式で近似したものである。下端外径は、特に躯体高さ 10m 以下で大きなばらつきがみられるが、石造灯台でその傾向が顕著であった。これは、写真 1 に示すように上端外径が灯塔上部のドーム状の屋根（以下、灯ろうという）の大きさから、下端内径の最低値が分銅筒の有無と階段幅から決まるため、躯体高さが低くなれば必ずしも下端外径が小さくなるというわけではないことが原因であると考えられる。図 1(c) および図 2(c) に示すとおり、石造および煉瓦造灯台において下端外径と下端壁厚の関係に規則性がみられることから、下端内径の大きさは躯体高さの影響を受けないものと判断できる。

4. 今後の課題

現存する灯台のプロポーシオンから、灯台の形状決定に係る経験則の定式化のため、灯台の各諸元の分析を行った。今後は、灯ろうの有無について分析を進めるとともに、特に RC 造灯台のサンプル数を増やすことで新設灯台の設計フロー効率化に寄与できる経験則の定式化を目指す予定である。

謝辞

本調査の実施にあたって、海上保安庁交通部整備課の協力を得ました。ここに厚く御礼申し上げます。なお、本研究は、平成 27 年度笹川科学研究助成（研究番号：27-230）および平成 26 年度大幸財団自然科学系学術研究助成により進められた研究成果の一部である。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート煙突の構造設計指針，pp.61-62，1976.6
- 2) 石川源二：燈臺，pp.527-529，1914
- 3) 海上保安庁：航路標識構造物設計規準，2004
- 4) 灯台施設調査委員会，灯台施設保全委員会編：明治期灯台の保全，財団法人日本航路標識協会，2001.3



写真 1 明治期灯台 5 の外観⁴⁾

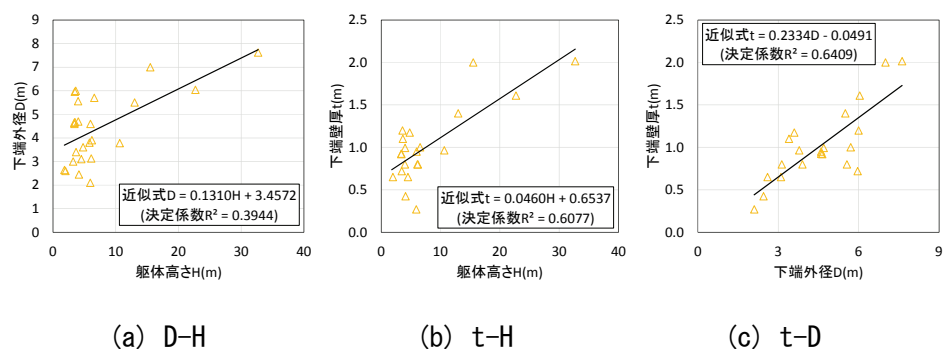


図 1 石造灯台の H, D および t の関係

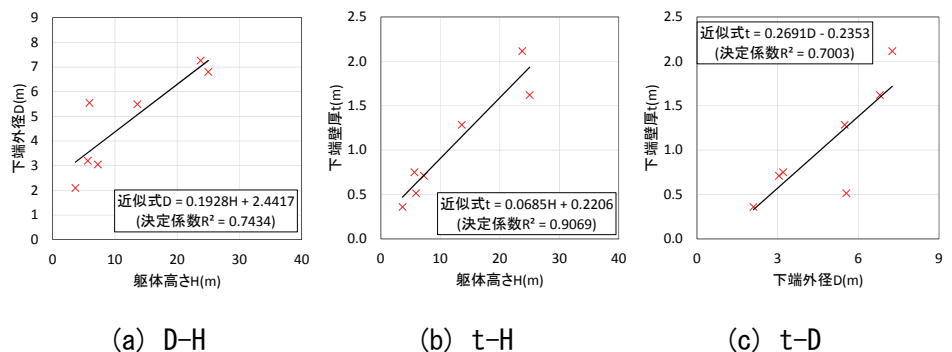


図 2 煉瓦造灯台の H, D および t の関係

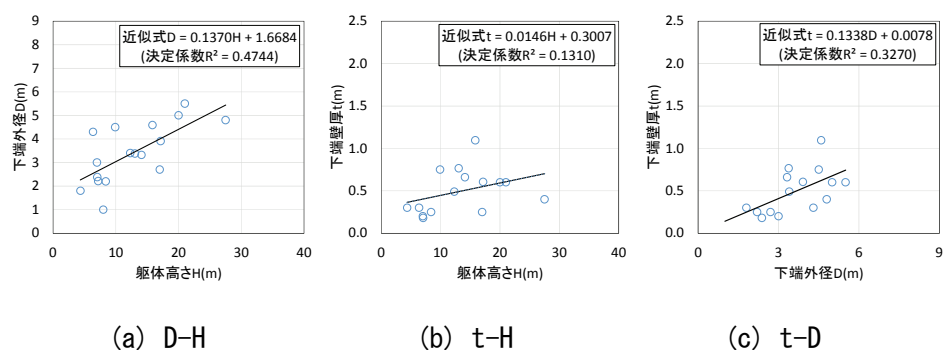


図 3 RC 造灯台の H, D および t の関係