

小規模震災復興橋梁の技術的特徴に関する調査 —図面および設計計算書に着目して—

日本大学生産工学研究科 学生会員 ○埜中 隆晃
日本大学生産工学部 フェロー会員 五十畑 弘
JIP テクノサイエンス株式会社 非会員 島田 哲朗

1. はじめに

関東大震災の復興橋梁(全 524 橋)に関する既往の調査・研究は比較的規模の大きなものに焦点があてられこれらをもって復興橋梁全体を代表させて論じられる傾向があった。このためこれらの規模の大きく、そのデザインも十分吟味されて建設された復興の橋梁群は、当時の橋梁技術の先端を示し、橋梁史のエポックメイキングの事例として重要な史実を提供してきた。

これに対して規模の小さな橋梁は、大規模橋梁^{注1)}と比して、当時の先端的技術あるいは、デザイン上の際立った特筆点は多くはないが当時の一般的、日常的、実務的レベルの橋梁技術をあらわす事例として、大規模橋梁と異なった技術史評価への史実の提供をしているとみることができる。

本研究では、大規模橋梁が当時の先端的技術を示したのに対して、小規模の震災復興橋梁に着目し、橋梁技術の裾野を構成する実務的な橋梁技術を明らかにすることを目的とする。

2. 調査手順

(1) 震災復興橋梁に関する既往研究の概要

大規模な復興橋梁をあつかった論文は多く、例えば中井の研究がある¹⁾。また、中小橋梁をあつかった研究は、藤澤、窪田らにより論じられている²⁾。

(2) 調査対象橋梁

今回調査の対象とした橋梁は増田淳設計事務所で設計され、震災復興橋梁であり東京都に現存している次の3橋とした。すなわち、①41D 橋(1928 設計、トラス、40.6m、現在東富橋) ②42B 橋(1927 設計、トラス、56.8m、小松橋) ③108A 橋(1927 設計、ゲルバー桁、35.3m、西堅川橋)である。これらは3橋とも東京市が発注者である。

キーワード 震災復興橋梁, 図面, 小規模橋梁, 増田淳
〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1
日本大学生産工学研究科 TEL 047-474-2420

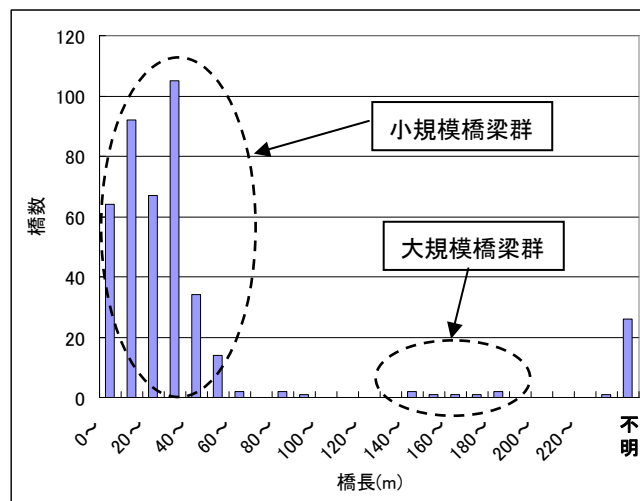


図-1 震災復興橋梁数と橋長の分布

設計者の増田淳(1883-1947)は、1907年から1921年までアメリカでの設計実務を経た後、1922(大正11)年に帰国、設計事務所を開設し、以後、1940年代初めまでに約80橋の設計を手がけた³⁾。これらの中に今回対象の震災復興橋梁が含まれる。

(3) 位置づけ

震災復興橋梁は東京で425橋(東京市によるものは310橋、復興局によるものは115橋)、横浜で99橋である⁴⁾。また、東京における復興橋梁の橋長は、その大半が60m以下である(図-1)。

これに比べて、隅田川六大橋(相生:146.5m、永代:185.2m、清洲:186.6m、蔵前:173.2m、駒形:149.1m、言問:237.7m)はずば抜けて長いことが分かる。これより、調査対象とした3橋を含む橋長60m以下の橋梁を「小規模震災復興橋梁」として位置づける。

(4) 調査方法

前述した3橋の図面および設計計算書を主な調査資料として用い、設計実務の面から内容を検証する。また、3橋の図面および設計計算書の概要を表-1に示す。108Aでは計算書が2冊ある。以下、それぞれの計算書を“41D 計算書”、“42B 計算書”とし、108Aの計算書については、「昭和二年十月 東京市一〇八A新設橋梁

表-1 図面，設計計算書の概要

	図面 (枚数)	設計計算書 枚数
41D	24枚	・昭和三年一月 東京市一〇八新架橋 設計計算書 増田淳事務所 表紙+38ページ(通し番号)
42B	28枚	・タイトル無し 表紙?+45ページ(通し番号)+2ページ(番号無し)
108A	14枚	・昭和二年十月 東京市一〇八新設橋梁 設計計算書 設計者 増田橋梁事務所 表紙+42ページ(通し番号)+17ページ(一部番号あり、計算用紙的に使用か?) ・新 東京市一〇八A橋 応力計算書 表紙+40ページ+1ページ(番号はないが続きたと考えられる)

表-2 42B(小松橋)の図面構成

図名	設計	製図	照査	写図
平面図	増田淳	稲葉 2-9-1	小島 2-9-2	山崎 2-9-2
応力及計算図	増田淳	股野 2-9-4		板垣
結構一般図	増田淳	股野 2-8-7	平田 2-9-7	原田 2-9-4
結構一般図	増田淳	股野 2-8-23	平田 2-9-7	原田 2-9-5
結構一般図	増田淳	股野 2-8-20	平田 2-9-7	原田 2-9-6
上弦材図	増田淳	平田 2-8-28	股野 2-8-29	山崎 2-8-29
上弦材図	増田淳	平田 2-8-21	? 2-8-30	山崎 2-8-27
上弦材図	増田淳	平田 2-8-22	股野 2-8-30	山崎 2-8-26
下弦材図	増田淳	平田 2-8-25	股野 2-8-31	平田 2-8-30
下弦材図	増田淳	平田 2-8-26	股野 2-9-1	平田 2-8-31
斜材図	増田淳	板垣 2-8-22	股野 2-8-31	板垣 2-8-29
斜材図	増田淳	板垣 2-8-23	股野 2-8-31	板垣 2-8-29
垂直材図	増田淳	板垣 2-8-24	小島 2-8-30	板垣 2-8-27
垂直材図	増田淳	板垣 2-8-24	小島 2-8-30	板垣 2-8-27
ポータルスウェー之図	増田淳	股野 2-8-31	平田 2-9-1	山崎 2-8-31
上部綾構図	増田淳	股野 2-8-30	平田 2-9-1	山崎 2-8-31
床版図	増田淳	股野 2-8-19	小島 2-8-23	山崎 2-8-20
人道部床桁及縦桁図	増田淳	? 2-8-20	小島 2-8-24	山崎 2-8-22
人道部縦桁及綾構図	増田淳	股野 2-8-23	小島 2-8-29	山崎 2-8-24
下部綾構図	増田淳	板垣 2-8-20	小島 2-8-27	板垣 2-8-23
伸縮装置図	増田淳	? 2-8-29	平田 2-9-2	板垣 2-8-30
鍍鋼管及付属品図	増田淳	股野 2-8-25	小島 2-8-30	板垣 2-8-29
床版之図	増田淳	稲葉 2-8-21	小島 小笠原 2-8-28	小笠原 2-8-23
橋台之図	増田淳	稲葉 2-8-29	小島 2-9-1	小笠原 2-8-30
川並護岸図及縦横断面図	増田淳	稲葉 2-8-31	小笠原 2-9-1	小笠原 小島 2-9-3
高欄及親柱図	増田淳	増田 2-9-1	小島 2-9-4	小笠原 2-9-4

設計計算書」を“108A 前計算書”とし、「新 東京市一〇八A橋 応力計算書」を“108A 後計算書”とする。

3. 調査結果

(1) 図面種類と構成

1927(昭和2年)に設計された42B(小松橋)の図面構成を表-2に示す。これより、上部工、下部工、応力図から高欄や親柱といった意匠に係わる付属品まで含まれている。また、図面には設計、製図、照査、写図にサインが書かれている。この3橋の図面で確認した名前は増田、稲葉(稲葉健三、名古屋高等工業学校卒)⁵⁾、陣田(陣田稔、山梨高等工業学校卒、戦後は松尾橋梁を経て東都鉄構)⁶⁾、股野、山崎、小笠原、平田、板垣、小島、原田、森田である。他に、(設計)掛長に小池、設計主任や技師に徳善、測量(者)に金澤と島田といった名前が見られる。

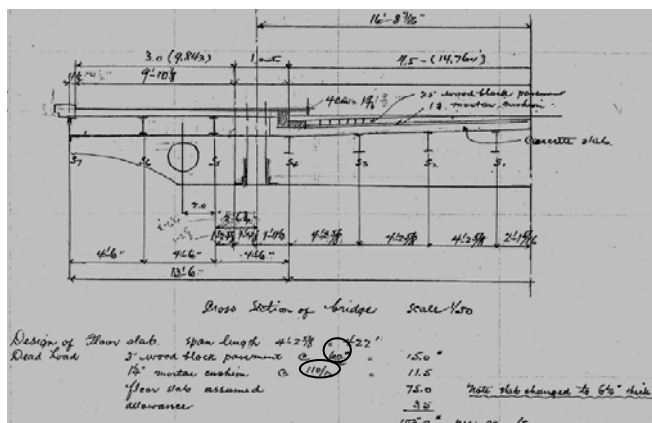


図-2 41D 計算書，p.1

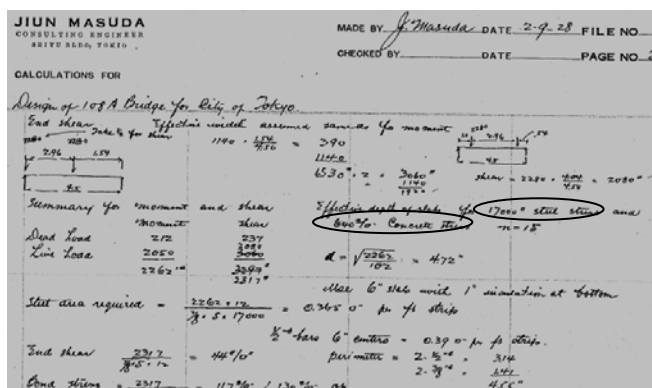


図-3 108A 前計算書，p.2

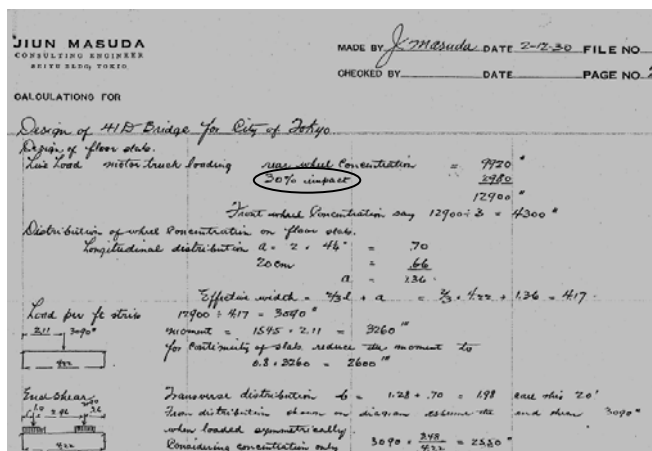


図-4 41D 計算書，p.2

(2) 設計計算書の構成

1927(昭和2年)に設計された108A前計算書の構成を表-3に示す。また、108Aの設計計算書は表-1に示した“東京市一〇八A新設橋梁 設計計算書”と“新東京市一〇八A橋 応力計算書”の2冊が発見されている。時期的には後者のほうが5ヶ月ほど後に記載されていることが分かった。

設計手順は、床版、縦桁、横桁、主桁の順であり増田が担当している。つづいて、橋脚、橋台、基礎などについてK.Inaba(稲葉)により設計が行われている。また、それぞれ常時、地震時、地震時(反対への作用)に

表-3 108A 前計算書の構成

ページ	名前	日付	内容(記)	ページ	名前	日付	内容(記)
			表紙				橋脚の設計
1	J.masuda	2-9-27	設計条件	26	K.Inaba	2-10-11	ケースA 地震時の橋脚の安定性 セクションAA'
2	J.masuda	2-9-28	横断面 床版設計(車道部)				ケースB 常時最大荷重での橋脚躯体の安定性
3	J.masuda	2-9-28	歩道部床版 地覆部床版				橋脚躯体底部の安定性
4	J.masuda	2-9-28	車道部縦桁S ₁ 縦桁S ₂	27	K.Inaba	2-10-11	ケースA 地震時の安定性 柱の重心より7ft低い
5	J.masuda	2-9-28	歩道部縦桁S ₃ 主桁(中桁)間の横桁CB ₁				ケースB 常時最大荷重での安定性
6	J.masuda	2-9-28	横桁CB ₂ 横桁と張出ブラケットの重量 横桁CB ₁	28	K.Inaba	2-10-12	橋台設計 パラベットウォール ケースA 常時最大荷重
7	J.masuda	2-9-28	張出ブラケットCB ₃ とブラケット				ケースB 地震時の安定性
8	J.masuda	2-9-29	横桁と張出部の重量の合計				橋台躯体の安定性
9	J.masuda	2-9-29	吊径間について				中桁下部の躯体
10	J.masuda	2-9-29	主桁G1(中桁)の設計	29	K.Inaba	2-10-12	ケースA 常時最大荷重の安定性 ケースB 川側へ作用する地震力に対する安定性 ケースC ケースBと反対方向へ作用する地震力に対する安定性
11	J.masuda	2-9-29	続き	30	K.Inaba	2-10-13	橋台・橋脚間の地中ばりの基礎の設計 基礎は中桁の下部、幅9'
12	J.masuda	2-9-29	外桁G ₂ 設計	31	K.Inaba	2-10-14	ケースA 常時最大荷重
13	J.masuda	2-9-30	主桁重量 中桁	32	K.Inaba	2-10-14	続き
14	J.masuda	2-9-30	外桁	33	K.Inaba	2-10-14	ケースB 川側へ作用する地震力に対する安定性
15	J.masuda	2-9-30	下横構	34	K.Inaba	2-10-15	ケースC ケースBと反対方向へ作用する地震力に対する安定性
16	J.masuda	2-9-30	吊径間重量	35	K.Inaba	2-10-18	フーチングと梁の設計 橋台のフーチングの(図は全て幅9'のフーチング)
17	J.masuda	2-9-30	定着径間の設計	36R	K.Inaba	2-11-5	橋脚のフーチング(側径間側) 橋脚のフーチング(中央径間側)
18	J.masuda	2-9-30	中桁G ₁	37R	K.Inaba	2-11-5	橋台・橋脚間の地中ばりの設計 O ₄ セクション(橋台に近い) O ₃ セクション(梁のスパン中央) O ₅ セクション(橋脚に近い)
19	J.masuda	2-9-30	続き	38	K.Inaba	2-10-24	ウイングウォールの設計 躯体の安定性 壁上部から8ft下のセクション
20	J.masuda	2-9-30	定着径間の設計				ケースA 常時 ケースB 川側へ作用する地震力に対する安定性 ケースC ケースBと反対方向へ作用する地震力に対する安定性
21	J.masuda	2-9-30	中桁G ₂	39	K.Inaba	2-10-24	躯体底部の安定性 ケースA 常時 ケースB 川側へ作用する地震力に対する安定性 ケースC ケースBと反対方向へ作用する地震力に対する安定性
22	J.masuda	2-10-1	主桁重量(定着径間) 中桁 外桁	40	K.Inaba	2-10-24	基礎底部の安定性 ケースA 常時最大荷重 ケースB 川側へ作用する地震力に対する安定性 ケースC ケースBと反対方向へ作用する地震力に対する安定性
23	J.masuda	2-10-1	定着径間の下横構の設計	41	K.Inaba	2-10-24	フーチングの趾端の設計
24	J.masuda	2-10-1	横構重量(11ページ参考)				
25	J.masuda	2-10-1	定着径間の重量の合計				
26	J.masuda	2-10-2	査設計				
27	J.masuda	2-10-2	橋脚上の査の図 ヒンジの設計				
28	K.Inaba	2-10-10	橋脚と橋台の一般図				
29	K.Inaba	2-10-24	橋脚の一般図				
30	K.Inaba	2-10-10	橋台の一般図				

について検討されている。このことから、上部工は増田が、下部工に関しては K.Inaba(稲葉)というように役割を分担していたことが分かる。また、41D, 42B に関しても同様のことが言える^{注2)}。

また、計算書には高欄、親柱、照明、手摺の設計は記載されていないが、図面においては、これらの詳細が記されている。これより、高欄、親柱などは別途設計されているものを適宜使用していることなどが考えられる。

(3) 設計計算書の内容

1) 準拠基準および単位

3 橋とも、死荷重(図-2 図中○印)、部材許容応力度(図-3 図中○印)などが道路構造に関する細則に一致したことから、同細則に準拠していたと言える。また、自動車荷重が第一種(12ton)を使用していることから、

一等橋であることが分かる。さらには、単位はインチ・フィート、ポンドを使用していることも読み取れる(図-2, 3, 4)。

2) 床版設計の手順および内容

設計計算の手順、および計算の具体的内容について、床版の部分について、以下の特徴的な事柄が明らかとなった。

①以下の式を用いて死荷重での最大モーメント・せん断力を算出している。

$$\text{モーメント} = \frac{1}{10}WL^2$$

$$\text{せん断力(支点反力)} = \frac{1}{2}WL$$

W: 床版の死荷重

L: 床版の支間(橋軸直角方向にとる)

②活荷重は自動車荷重の後輪とこれに衝撃係数(3 橋とも最大値の 0.3 を使用、図-4 中○印)を乗じた合計

である。

③床版の有効幅 e の算出方法

$$108A \text{ 前計算書, } 42B \text{ 計算書 } e = \frac{2}{3}(\ell + b) + a$$

$$41D \text{ 計算書 } e = \frac{2}{3}\ell + a \text{ (細則第 28 条に規定)}$$

④活荷重を有効幅 e で除して、活荷重による最大曲げモーメント・せん断力を求める。ここでモーメントは床版の連続性を考慮して、0.8 を乗じている。

⑤死荷重と活荷重によるモーメントの合計より、床版の有効高さ d を次の式より算出する。また、かぶりを床版底部から 1~1.25 インチ加えて床版高さとしている。

また、3 橋とも $\sigma_s = 17000 \text{ lb/in}^2$ $\sigma_c = 640 \text{ lb/in}^2$ を使用している。

$$\text{床版の有効高さ } d (\text{単位はインチ}) = \sqrt{\frac{M}{102}} \text{ (全ての計算書で使用)}$$

(※ d の式を $h-a$ の式⁷⁾で確認)

$$h - a = d = \sqrt{\frac{2}{(1 - \frac{k}{3})\sigma_c k}} \times \sqrt{\frac{M}{b}} \quad k = \frac{15\sigma_c}{\sigma_s + 15\sigma_c}$$

$$\therefore d = \sqrt{\frac{M}{101.6b}} \doteq \sqrt{\frac{M}{102b}} = \sqrt{\frac{Mb}{102b}}^* = \sqrt{\frac{M}{102}}$$

(※ここで、 M の単位はポンド・フィートなので単位換算した。)

⑥所要鉄筋量を算出後、鉄筋間隔を仮定し、付着応力度、せん断応力度に対する検討を行っている。

(4) その他の内容

41D 計算書と 108A 前計算書において、発注者である東京市の小池により構造型式についての承認を得たとの旨が記載されている^{注3), 注4)}。

4. おわりに

今後は、床版、床組以外の箇所を対象とするとともに、図面の製図方法、図面中の注記などの部分に着目して調査を行う。また増田淳、小池啓吉、徳善義光^{注5)}らの関係についても調査対象とする。なお、本研究は、平成 18 年度文科省科学研究費の助成研究であることを付記する。

参考文献・注釈

1) 中井祐，帝都復興橋梁における隅田川六大橋の設計方針と永代橋・清洲橋の設計経緯，土木史研究論文集，pp. 13-21，2004。

2) 藤澤加奈子，窪田陽一，深堀清隆，他 3 名，震災復興橋梁の設計における標準的仕様に関する研究，土木史研究，pp. 235-240，2002。

3) 五十畑弘，土木図面の史料性に関する調査研究 - 主に増田淳の鋼橋図面を対象として -，土木史研究論文集，pp. 87-97，2006。

4) 中井祐，近代日本の橋梁デザイン思想 三人のエンジニアの生涯と仕事，東京大学出版会，p. 373，2005。

5) 福井次郎，橋梁設計技術者・増田淳の足跡，土木史研究論文集，pp. 165-175，2004。

6) 前掲文献 6)。

7) 日比忠彦，鐵筋混凝土の理論及其応用 上巻，丸善，大正十一年，p. 487-495。

8) 白井芳樹，橋梁技術者小池啓吉の東京市における経歴と仕事，土木史研究論文集，pp. 41-47，2006。

9) 前掲文献 8)。

注 1) 本論文では、大規模橋梁とは橋長 100m を越えるものとしている。

注 2) 41D では、上部工の全てが増田の設計と言うわけではないが大半を増田が担当している。また、下部工は全て稲葉の担当となっている。42B では、上部工の設計にサインが記載されていない。しかし、下部工は全て稲葉のサインが見られる。

注 3) 41D 計算書，p. 1 の記述「Pratt Truss Type has been approved by the City Bridge Engineer Mr. Koike on... (後略) Other miscellaneous datas given by Mr. Koike (City bridge Engineer) in contract paper.」(プラットトラス型式は東京市の小池氏によって承認された...他の様々なデータは小池氏(東京市)との契約書で得る(筆者訳))。

注 4) 108A 前計算書，p. 1 の記述「This type has been approved by City Bridge Engineer Mr. Koike」(この型式は東京市の小池氏によって承認された(筆者訳))。

注 5) “Mr. Koike” (注 4), 5) の下線部) は、図面のサインにあった“小池”と同人物であると推測できる。また 3 橋の設計と同時期に東京市の設計掛長に小池啓吉という人物が存在している⁸⁾。このことから、**Mr. Koike**・(設計)掛長 小池は、東京市職員の小池啓吉であると言える。同様に、図面の“徳善”とは東京市職員 徳善義光であると考えられる⁹⁾。