

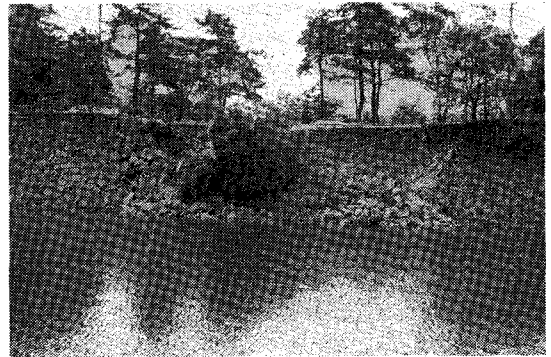
名古屋城の石垣修復工事

山 本 有 三*

1. はじめに

名古屋城は関ヶ原の合戦以後、東海の要衝として、徳川家康が西国二十余藩の諸大名に命じて築いたもので、慶長 15 年（西暦 1610 年）に着工し、天守閣は慶長 17 年（西暦 1612 年）に完成、全体は慶長 19 年（西暦 1614 年）に竣功している。本城は、築城術の最盛期に築かれた平城の代表的なもので、築城のころから尾張名古屋は城でもつとまでいわれ、別の名を金城・柳が城・蓬左城^{りゆう}などといわれ広く市民から親しまれ、名実ともに名古屋のシンボルとなっている。現在の天守閣は、昭和 20 年 5 月の空襲により焼失したものを昭和 35 年に約 6 億円^{りゆう}の巨費を投じて再建されたものである。

現在、名古屋市が管理している石垣は延長約 6 465 m であるが、昭和 45 年 6 月 16 日夜、降り続く雨の中で、深井丸北面の石垣が高さ約 9 m・延長 32 m にわたり突



(左上端部に築城当時と異なる積み方がみえる)

写真-1 石垣崩壊部

然崩壊した（図-1、写真-1 参照）。

この修復工事を名古屋市土木局が担当することとなり、各種の文献資料を調査したが、石垣の構造・手法に関してはきわめて一般的なものしか得られず、本城の石垣、とくに崩壊部の周辺がいかんにして積まれたものか、

基礎の構造はどうかなど復旧の手がかりとなる資料もなく、結局、石垣の撤去工事と調査とを併行させて順次必要な資料を収集するとともに、他の城調査を行ない参考事項を収集した。

2. 石垣崩壊の原因

石垣崩壊の原因としては一般に、① 地盤の支持力不足、② 栗石裏込厚の不足、③ 施工の粗雑、④ 水抜き不足、⑤ 裏込材料の目づまりによる排水不良、などがあげられる。今回の崩壊部石垣について、調査の結果、⑧ 裏込栗石の量がこの種石垣高さに比較して少ない、⑩ 栗石層背後の裏込土は粘性土で透水性が悪く、裏込栗石を目づまりさせた状態にあった。このように、長年月を経て石垣背後の排水が悪い状態となり、粘性土のため水分を含むと土圧が増加し、石垣が長年月の間にはらんだ形に変形していたところに多量の降雨を受け、ついに安定を失ったものと判断さ

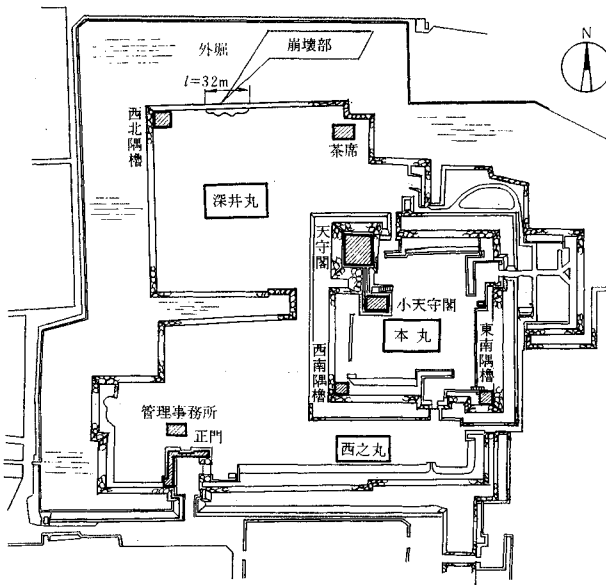


図-1 名古屋城内見取図

* 正会員 名古屋市土木局 局長

れる。なお、石垣の安定を長年月の間に失われしめ、破壊のきっかけともなりうる要因の一つとして、石垣天端に近接して植えられている樹木のことも無視することはできない。

3. 復旧の方針

崩壊部石垣復旧の基本方針として、① 文化財であるので原形復旧を原則とし、築城当時の空積み工法によること、② 復旧方法は、上部の崩壊部分のみ積み直す方法と、基礎から全面的に積み直す方法があるが、今回は基礎の調査をかねて後者の方法を採用すること、③ 基礎その他にコンクリートは使用しないこと、④ 裏込栗石は増厚すること、など文化庁から指示を受けた。この結果、工事は撤去工事と復旧工事とに二分し、撤去工事と併行して調査を進めた。また、近年石垣修理の実績のある城、あるいは石積みの手法が本城と類似し参考となると考えられる大阪城・熊本城・姫路城・彦根城の四城を調査した。これらの調査結果に基づき復旧工事の設計にかかるとともに、深井丸一帯、とくに北面・西面の排水を改良するため、別途排水工事を施工し、めくら暗渠（集水管の内径 150 mm および 250 mm）延長 580 m および排水管（鉄筋コンクリートヒューム管、内径 300 mm および 400 mm）延長 240 m を、石垣天端より後方約 9 m の位置で石垣と平行に、平均深さ 1.2 m で布設した。

4. 崩壊部の調査

現在保存されている金城温古録その他の資料²⁾によると、築城当時、施工にあたっては、いわゆる割普請の方法がとられ、請大名の丁場割は図-2 のようであった。この図と現況実測値には 14.3 m の差があるが、これは西北櫓の部分と推定され、これらを参考に崩壊した位置をみると、木下右衛門太夫・羽紫越中守仕口の部分に該

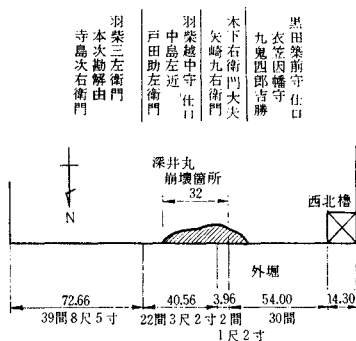


図-2 築城当時の石垣丁場割（単位：m）

当すると思われる。深井丸石垣が積まれたのは慶長 15 年の 5 月から 8 月までの間、わずか 4 か月との記録があるが、今日の土木技術からみても驚異とするに足るものであろう。

石垣の崩壊について、名古屋城史その他を調べてみると、本城石垣は部分的にはたびたび崩壊し、あるいは、はらみがひどくなり修理を行なった記録（宝暦年間の大修理など）があるが、具体的な位置は明らかでない。しかし、これらの記録を参考に、あらためて周囲の石垣を観察すると、ところどころに築城当時の積み方と異なる部分が見受けられる。写真-1 の左上端部分も明らかに修理のあとで、濃尾地震による修理の跡とも聞くが確証はなく、また、設計の資料とすべきものも残されていないので、今回調査を行なった結果と各種文献の記録を要約して報告する。

(1) 積石

本城の石垣は、熊本城・姫路城の石垣とほぼ同じ積み方であり、安土桃山時代の手法である。石は加工が雑で石と石との間隙が多く、この結果飼石が多い。石の積み方は布積みに準じてはいるが、目筋が横に規則正しく整わず雑然としている。積石の産地は諸大名の領地各地にわたり、文献によると、美濃・三河・伊勢をはじめ、遠くは、紀伊・摂津・播磨・讃岐にも及び、船で熱田に送り、ここから陸路を運搬したものである。使用された石は、花崗岩・安山岩・硬質砂岩であるが、花崗岩が大半を占めている。撤去した石の大部分はそのまま再使用できる状態であったが、風化の進行により相当もろくなったもの、あるいは、ひび割れを生じているものが数個見受けられた。なお、崩壊部から撤去した石 387 個を測定した結果は次のとおりである。

① 前面面積：

最大/70 cm × 75 cm および 105 cm × 50 cm : 5 250 cm²

最小/30 cm × 30 cm : 900 cm²

② 控長：

最大/180 cm, 最小/45 cm

平均的な石の大きさは、前面面積 2 500 cm²、控長 82 cm、重量約 400 kg、1 m² 当りの使用個数は平均 3.42 個である。また、控長別に個数百分率をみると、控長 60 cm 以下：17.8%、61~100 cm：66.4%、101 cm 以上：15.8% となり、控長 100 cm 以上の大石が約 2.5 m² に 1 個の割合で使用されている。このことは、他城の調査結果からみても、力石（控長の大きな石）は 1 面坪（3.3 m²）当り 1 個以上使用されているので、妥当な数値と思われる。

(2) 裏込石

裏込栗石は、径 10~30 cm 程度で、大小はほぼ均等に混合されているが、長年月を経て目づまりを生じており、また、崩壊した部分では土砂の中に散逸し、最終的に回収できたのは石垣 1 m² 当り約 1 m³ で、残る 30% 以上は、栗石として再使用することは採算に合わないため土砂として撤去した。栗石の層は、崩壊部に隣接する断面を観察しても、厚さは不均一でむらがあり、基礎を発掘した際の調査によっても、根石以下には栗石は使用されていなかった。撤去した栗石量（損失量を含む）から推定すると、栗石の厚さは平均 150 cm 程度になる。

栗石の厚さに関しては、明治以前日本土木史³⁾にも、厚さが石尻より1間は下等、2間を中等、3間を上等とする旨の記述がある。これと比較しても、崩壊部の裏込石はきわめて少なく、このことが崩壊の一因と推定される。今回の調査結果から当時の石垣のすべてを判断することは適当ではないであろうが、崩壊部付近で裏込栗石の厚さと石垣の高さの関係をみてみると、石垣天端から高さの 1/2 または 2/3 あたりまでは漸次厚さを増し、この付近で厚さはほぼ最大となり、それ以下では、そのままの厚さを保つか、あるいは逆に下方ほど栗石層が薄くなっているようである。胴木発掘時の調査によれば、胴木から 2.5 m までは栗石が入っていたが、それより後方には入っていなかったことから、築城当時の裏込栗石量の少なかったことをうかがい知ることができる。

(3) 基礎工

昭和 45 年 10 月 29 日、崩壊部中央の胴木を発掘した（写真-2 参照）。継手はほとんど鎌継ぎであるが一部に芋継ぎがあり、この芋継ぎの部分は、前後列の継手が同位置にあることから、丁場割の境に該当するのではないとも思われる。胴木には松材が使用され、表面の一部に腐食がみられた。なお、写真-2 の胴木中央の穴は径約 11 cm で、内に径 9~10 cm・長さ 90 cm 程度の

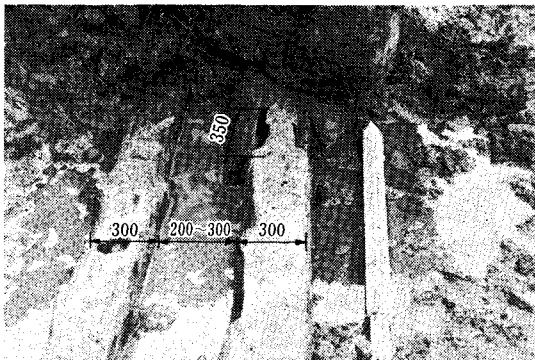


写真-2 基礎胴木

杭が打ち込んであったが、腐食が著しいにもかかわらず原形を保っていることから、基礎の胴木は築城当時の位置を保っていると判断される。この木杭は、構造上とくに有効なものではなく、施工上の必要から用いた止杭であろう。

(4) のり面

石垣ののり面は、寺勾配、扇の勾配ともいわれるように、ゆるい曲面で形成されているが、本城の深井丸一帯は全面にはらみが出ている。石垣天端と石垣前面堀底との直線勾配を実測したところ、崩壊部東側では 4.33 分（傾斜角 113°25'）西側では 5.06 分（傾斜角 116°50'）で、6 か所の平均値は 4.16 分（傾斜角 112°35'）であった。ただ、はらみの進行に伴い、天端自体も前面に押し出され、あるいは沈下しているため原形を知る手がかりは得られなかった。

(5) 地質

本城は熱田洪積台地のはずれに位置し、天守閣がその洪積台地の最北端とも考えられる。石垣撤去中の発生土は土質も一定せず、石垣背面の地表面下 4 m 以下で、築城当時土留めに使用したとおぼしき木杭が現われ、また、石垣前面の地質調査結果などから、石垣背面の土は他から搬入したと推定される。地質調査結果の柱状図を図-3 に示すが、石垣前面の堀底から下 6~6.7 m まではゆるい砂層で、それ以下は径 20~40 mm の砂礫層となっており、市の北部を流れる庄内川・矢田川など河川のはらんによって堆積した地層と推定される。

調査地点 名古屋城深井丸石垣前面（外堀） 標高 NP 4.050 m
 孔内水位 GL-0.55m 調査 昭和45年10月

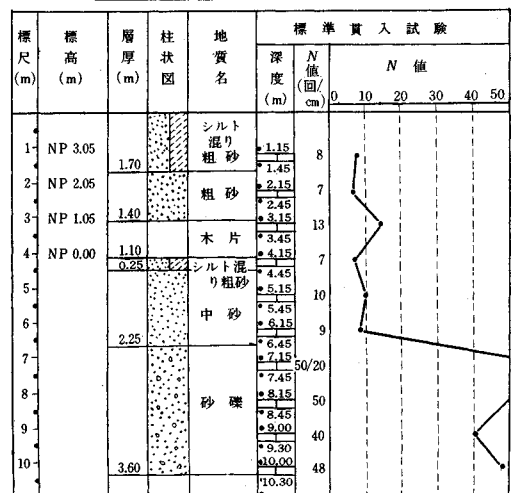


図-3 地質柱状図

5. 設 計

古来、石垣はその前面を傾斜させ、石の重量、石のかみ合わせ、合端における摩擦力などにより背面土圧に耐えさせるものである。したがって、石垣の安全は土工技術の優劣によるところが大きい。今回、復旧石垣の設計における問題点は、この土工技術による石垣の安全度の不均一をいかに設計で補うことができるかであって、本工事のごとき空積み工法についての理論的解法は見出しがたいが、石垣のり面勾配の決定その他については岡積満氏の解法⁴⁾を参考とした。基礎は、従来、杭を使用せず胴木だけであったが、安定計算の結果を参考に杭打胴木基礎工とし、従来のものを改良した。

(1) のり面勾配

石垣のり面の築城当時の原形が判然としないため、示力線よりのり面形状を求めることとしたが、その計算において、次の仮定に基づくものとした。① 石垣は厚さ一定の壁体とし、壁面は直線とする、② 裏込栗石および壁体の単位体積重量をそれぞれ、 2 t/m^3 ならびに 2.6 t/m^3 とする、③ 土圧はクーロン土圧によるものとする。以上による計算を、④ 勾配を4分または3.75分とし、⑤ 石垣の仮定壁厚（崩壊部の調査による石の控長は、おおむね60~80cm）を60~80cmの間で5cmごとに変え、⑥ 裏込の内部摩擦角を 35° または 40° として試算を行ない、その結果を作図すると、勾配を4分、内部摩擦角を 35° としたものが築城当時の原形に近く、最も好ましい線形を示していると思われる。これを崩壊部の断面と比較すると、図-4のごとくである。ところで、崩壊部付近の石垣は天端自体が前面に移動して

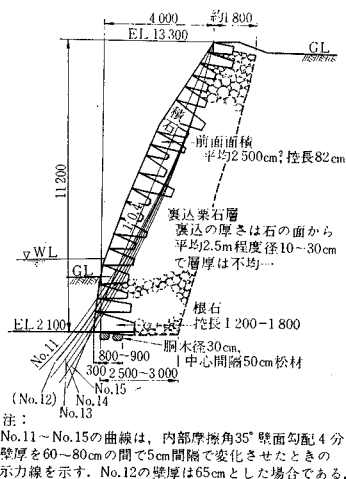


図-4 築城当時の原形に近いと考えられる線形 (単位: mm)

いと推定されるので、その移動幅を30cmと伝定すれば、図-4のNo.12に示す線形が最適となるので、これを今回の復旧のり面勾配に採用した。

(2) 安定計算

今回の設計断面は、諸調査の結果を総合して決定したもので、排水の改良、裏込めの増厚など築城当時の断面と比較すると格段の相違である。しかし、復旧する石垣が少々の地震を受けても崩壊しないものにしておくため名古屋大学工学部の市原松平教授に、復旧石垣構造の地震時の安定計算⁵⁾を依頼した。その結果、① 壁体の各種仮想切断面に沿う滑動に対する安全率は、石垣の下部になるほど小となり、地震加速度が220gal以上の場合滑動すること、② 胴木の上に乗る根石は、地盤反力の関係からみて上載積石の前面より35cm以上突出してすえ付けることが好ましいこと、などが判明した。そこで、① に対しては石垣前面に床固工を施工し、② についても設計断面に考慮を加えることとした。

(3) 基礎工

深井丸石垣の基礎が、松丸太の胴木のみで約360年を経ていることは調査の結果からも明らかであるが、地質調査および安定計算の結果を考慮し、杭打胴木基礎とした。杭は胴木とのつり合い、長期間の耐食性、文化的価値を考え、松丸太杭とし、杭長は杭先をN値50以上の砂礫層に1.5m程度入れるために5.5mとした。杭の所要間隔は計算の結果、約75cmとなるが、基礎胴木を中心間隔50cmで並列に設置するため、杭は各胴木ごとに1.5m間隔とし、千鳥に配置することとした。

以上の結果から、復旧断面を図-5のごとく決定し、文化庁の許可を得て工事に着手した。

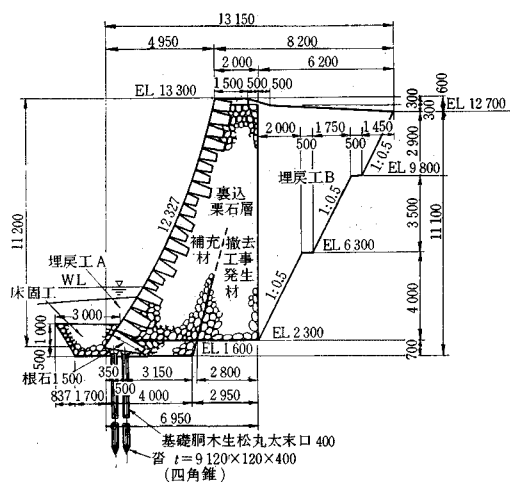


図-5 標準横断面図 (単位: mm)

6. 施 工

復旧工事は設計断面にしたがって、床掘りから着工した。その切土には、クラムシェルと小型ブルドーザーを使用した。杭打ちおよび胴木の設置に引き続き石積工にかかったが、石工には、彦根城その他の城郭石垣の経験の多い大津市在住の栗田万喜三氏の指導を得た。

崩壊部から撤去した石の中には、再使用不可能のものがあつた。その補充の必要が生じた。補充石は材質が撤去した石とほぼ同じで入手しやすいことを考慮し、花崗岩を使用した。本市周辺の石の産地は、岡崎・恵那・坂祝などが知られているが、単価が比較的高いため、三重県熊野産の石材を使用することとした。補充石は、他の石の中に配置したとき色が目立つこと、形も適宜加工できることから根石に使用し、前面面積 3500 cm²・控長 150 cm 以上とした。補充石で根石以外に使用したのもすべて堀底以下に配置し、外観上目立たないように注意した。崩壊部の東側の新旧石垣の取合せには、既設石垣とは無関係に復旧し、くい違いをつくってもよいとする見解と、構造上の弱点となりやすいので、すりつけておくべきだとする見解があつたが、今回の施工に際しては、くい違いの差が最高 1.2 m 程度になり、積石が完全に露出して構造上の弱点となること、さらに、引き続き崩壊部の隣接東側を積み直すことを考慮し、天端延長約 10 m、石垣前面の堀底で 0 となるような逆三角形の形ですりつけを行ない、石垣の中央部におけるくい違いを、最高 40 cm 程度にした。石垣の高さに対する所要控長は、前記岡積満氏の解法から計算されるが、一般的な目安としては、石垣の高さ 3.5 m までは控長 30~40 cm、5.5 m までは控長 40~50 cm 以上、…… 12 m までは控長 65 cm 以上とされている。この数値は、施工に際しても参考にし、かつ石垣前面が均一で、隣接する石垣との調和がとれるよう留意した。裏込用栗石は、発生材が 520 m³ 程度しかなく、約 770 m³ 不足したため、内津峠（名古屋市北方約 28 km）産の硬質砂岩の割栗石で径 10~30 cm のものを補充し、目潰材は碎石の径 5~10 mm のものと径 10~20 mm のものを、それぞれ 1:2 の割合で碎石場において混合し、栗石量の 30% 使用した。

石積工には、作業量および現場の諸条件を考慮し、トラッククレーンを使用し、クレーンによりいったん作業場に降ろした石を三又で吊り上げ、丁張りに合わせて飼石を詰め、裏込栗石を詰めて転圧固定した（写真-3 参照）。1日当りの石積み施工量は、平均 6~8 m²（石は平均 3.4 個/m²、平均控長 82 cm）であつた。裏込および床固めの栗石は量も多く、敷ならしと転圧をかねて小型ブ

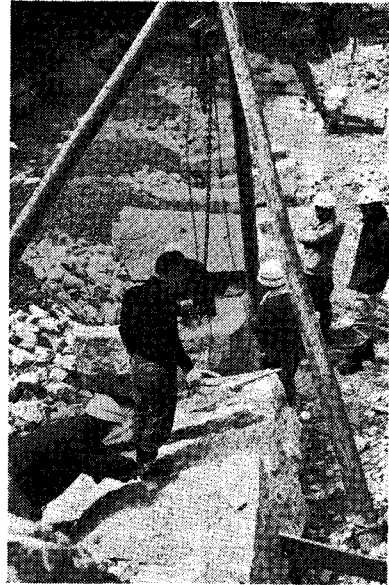


写真-3 根石のすえ付け

表-1 名古屋城石垣修復工事の施工数量

| 区 分 | 撤去 工 事 | 復 旧 工 事 |
|-----------------------|---|---|
| 延 長 (m) | 天 端 50.9 底 部 35.9(逆台形) | 天端 34.6 底 部 34.6 (平行四辺形) |
| 高 さ (m) | 直 高 11.2 | 直 高 11.2 |
| 面 積 (m ²) | のり面 535 | のり面 426 |
| そ の 他 | 撤去土量 2150 m ³ 撤去栗石量 520 m ³ 撤去積石数 1860個 | 切土量 1200 m ³ 埋戻 1590 m ³ 使用栗石量(発生材 520 m ³ 補充材 970 m ³) 使用積石数(発生材 1420 個 補充材 59 個) 胴木(延べ 70 m、長さ 3.5~6.5 m) 松丸太 末口 40 cm 14 本 松丸太杭 47 本・末口 22 cm 長さ 5.5 m |

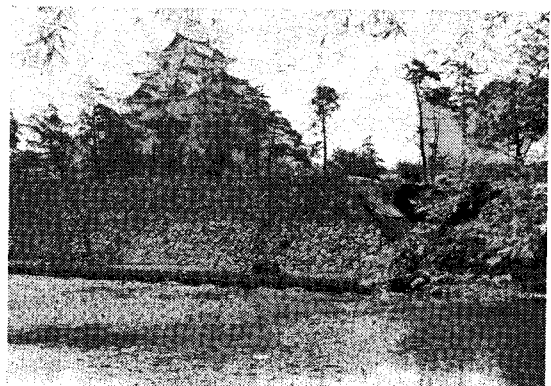


写真-4 竣工後の石垣

ルドーザーを使用した。今回修復工事（石垣撤去工事および復旧工事）の施工量は表-1 に示すとおりである。なお、表中の撤去面積と復旧面積の差 109 m² は、引き続き西側（写真-1 および 写真-4 の右側）を修理・積み直す計画のもとに、写真-4 に示すようなV型の開口

部を残したためである。

7. あとがき

今回、名古屋城の石垣修復にあたっては、十分な参考資料がないうえに、文化財としての種々な制約があり、工事着工後も種々の検討を重ねつつ施工したために意外な日時を要したが、写真-4 に示すような形で復旧工事を完了した。現在、引き続き西側部分、延長 41m の積み直しを行なっている。この種の石積み工事は、いままでにも多くの例をみるが、構造の全般にわたって解明されているとはいいがたく、設計ならびに施工の面においてもさらに検討の必要があろう。

ここで、工事のあとをふり返ってみるとき、壮大な城郭石垣を築きあげた当時の人々の技術と、異常なほどの

エネルギーに対し驚異の念を禁じえないものがある。

最後に、今回の修復工事にあたり、ご意見・ご指導をいただいた多くの方々に対し、誌上をかりて謝意を表するしだいである。

参考文献

- 1) 名古屋城史：名古屋市（編集・発行）昭和 34 年 10 月 1 日
- 2) 奥村得義：金城温古録，万延元年（1860 年）
名古屋市教育委員会：名古屋叢書続編，pp. 13~16，昭和 40 年 3 月
- 3) 土木学会：明治以前日本土木史（城壘編・施工技术編抜粋），土木学会
- 4) 岡積満：間知石の法勾配，土木技術第 5 巻 9 号および 10 号，昭和 25 年 9 月，10 月
- 5) 市原松平：名古屋城石垣の復旧断面に対する地震時安定計算，昭和 45 年 8 月

(1971.9.21・受付)

土木学会視聴覚教育委員会編

土木技術フィルムリスト 1970 年版

B 6・126 ページ 1000 円（〒 130 円） ●代金に送料をそえて申込んで下さい。

鋼管構造

●土木工学大成 6 成瀬泰雄 著 菊判・240 ページ ¥2200

最近、鋼管・H形鋼などを応用した鋼構造の新工法が注目されている。本書は鋼管構造に着目し、橋梁構造に多くのページをさき、輸送管橋・特殊構造物にもふれて実例と比較しつつ設計・施工上で生ずる問題点を詳しく解明を試みた力作。

(著者は日本鋼管工事 KK 橋梁課長)

目次 概説（鋼管構造について 鋼管構造の特長 鋼管の種類 構造用鋼管の規格 鋼管の選定）
鋼管の力学（鋼管断面の諸性質 座屈と屈服 ねじりとせん断による座屈 鋼管の風圧抵抗 カルマンうずによる鋼管部材の振動） 橋梁構造（アーチ系橋梁 トラス系橋梁 ラーメン高架橋 横断歩道橋 鋼橋脚） 輸送管橋（輸送管橋の設計・実施例） 特殊構造物（高架水槽 海洋構造物）

既
刊
書
よ
り

構造力学 ●森北土木工学全書 3

応用弾性学

特殊構造物 全 2 冊 ●土木工学大成 2・3

吊橋の振動解析

新土木設計データブック 全 2 巻

工博 伊藤 学 著
A 5 / ¥1400

C. T. ワン 著 / 工博 猪瀬寧雄 訳
A 5 / ¥2500

工博 神谷貞吉 編
菊 / (I) ¥1800 (II) ¥2000

工博 猪瀬寧雄・工博 高田孝信 訳
B 5 / ¥3000

工博 成瀬勝武 他 編
B 5 / (上) ¥6000 (下) ¥6500

【図書目録呈（読者 Q 1-12 係）】



森北出版

東京都千代田区神田小川町 3 の 1 0
TEL 03-292-2601 振替東京 34757