

神戸外国人居留地煉瓦造下水道の構造と機能*

Structure and functions of the brick drainage system at foreign settlement of Kobe

山崎 竜護**・神 吉 和 夫***

By Ryugo YAMAZAKI, Kazuo KANKI

要 旨：明治初年に英国人技術者 J. W. Hart により建設された神戸外国人居留地煉瓦造下水道について、設計図、計画図等の建設期の資料を詳細に分析することで構造を明らかにし、さらに、居留地の街区構造と地被条件をもとに、現行の流出量計算モデルを用いて雨水・汚水排除機能について考察を行う。また、設計当時に用いられていた雨水流出量計算式を本研究対象に適用し、現行の計算結果と比較検討を行う。

1. はじめに

神戸外国人居留地は、1868(明治元)年 8 月 7 日の「大坂兵庫外国人居留地約定書」により、東は旧生田川(現フラワーロード)から西は鯉川(現鯉川筋)、北は西国街道付近(現花時計北側道路)から南は海岸までの範囲と定められ建設が始まった。その調査・設計・監督に当たったのが John. William. Hart(1836~1900)である。

J. W. Hart は居留地建設の一環としてわが国初の煉瓦造下水道を敷設しているが、従来、『日本下水道史』¹⁾等によりその概要が明らかにされているものの、その構造の詳細、下水道施設としてどの様に設計され、機能していたかは明らかではない。

本研究では、神戸外国人居留地煉瓦造下水道について、①J. W. Hart によって作成された設計図等の建設期の資料よりその構造を明らかにし、②合理式等、各種の流出計算モデルを用いて、その雨水および汚水排除機能を定量的に解析する。

2. 居留地の空間構成

2.1 土地区画・利用

図-1 に 1872(明治 3)年作成された神戸外国人居留地の計画図「PLAN OF FOREIGN SETTLEMENT OF KOBE」をもとに作成した、当時の神戸外国人居留地の街区、商館等の建物建設区画(暗灰色)、および緑地を示す。

その規模は約 7.8 万坪(約 25.6ha)で 126 区画に分けられ、西欧的発想に基づき、海岸線に沿ってはグリーンベルトを持つプロムナードがあり、道路は人車馬道、街路樹、街路灯(ガス)、下水渠に加えてレクリエーション・グラウンドや公園等が計画され、欧米諸都市にみられ

* keywords 神戸外国人居留地、下水道、煉瓦造

** 学生会員 順天堂大学スポーツ健康科学部大学院
(〒270-1695 印旛郡印旛村平賀学園台 1-1)

*** 正会員 博士(工学) 神戸大学工学部建設学科
(〒657-8501 灘区六甲台町 1-1)

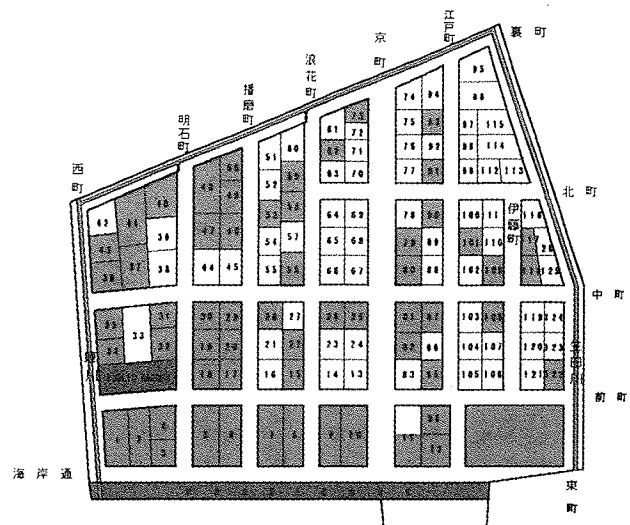


図-1 土地利用図

るような近代的町づくりとなっている。

図-1 をみると、建物が南部と西部に集中していること、南面を海、他の 3 面を旧生田川、鯉川および水路に囲まれ排水域としては独立していることが分かる。

2.2 煉瓦造下水道

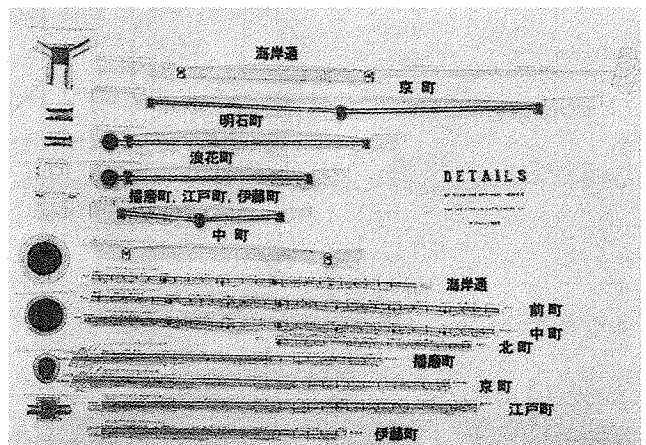


図-2 神戸外国人居留地下水道設計図
(原図に日本語街路名を加筆)

煉瓦造下水道は「PLAN OF FOREIGN SETTLEMENT OF KOBE」にも描かれているが、神戸市中央図書館には煉瓦造下水道と街路の詳細を示した設計図「DETAILS OF ROAD AND DRAINAGE WORKS FOR THE FOREIGN SETTLEMENT OF HIOGO.1868」が残されている。(図-2 参照)

図-2 をみると、南北路である明石町、浪花町には内径 36in(約 900mm, 以下, 1 ft=12in, 1 in=25.4mm と単位換算する)の円型管, 播磨町, 京町, 江戸町, 伊藤町には長径 24in(約 610mm), 短径 18in(約 457mm)の卵型管がそれぞれ煉瓦積みで築造され, また側溝と連結するための枝管には 9in(約 229mm)および 12in(約 305mm)の円形の陶管が用いられている。東西路に関しては街路両脇の歩車道との境界部分に側溝(縦, 約 0.450m×横, 約 0.225m)が取り付けられており, 約 60ft おきに設けである集水渠には泥だめが, またその蓋には鋳鉄製の格子蓋が用いられている。

表-1 に下水管渠の管径, 勾配および管路長を示す。ここで, 側溝と雨水幹線を結ぶ枝管に用いられている 9in および 12in の陶管については, 管径の使い分けが明白でないため○229or○305(mm)と表記する。

下水渠の勾配は, 南北幹線については円型管を用い

ている明石町, 浪花町では, 前町を境に山側が 1/250, 海側が 1/200 と流下方向に勾配が増している。また, 卵型管を用いている播磨町, 京町では, 円型管と同様に前町を境に, 山側が 1/300, 海側が 1/200 と流下方向に勾配が増している。しかし, 江戸町, 伊藤町では一貫して 1/300 の勾配が付けられていることが分かる。

神戸に先行する横浜居留地の Brunton による下水道計画では, 本管の勾配は 1/400, 後になる神田改良下水では 1/800 となっている²⁾ため, 神戸での下水道本管の勾配はそれらより急となっている。

図-3 に下水道網と流向図を示す。図-3 をみると, 円型管は明石町, 浪花町という築造延長の特に長い 2 つの幹線に用いられていることが分かる。円型管は街路西側の歩道下に埋設され, 街路両側に側溝を取り付け, 約 60ft おきに両者を結ぶ陶管が取り付けられている。また, 円型管の北端は居留地北側の水路と連結されているように描かれている。一方, 卵型管は街路の中央に埋設され, 両側に側溝が取り付けられている。また, 円型管と同様, 約 70ft おきに両者を結ぶような陶管が取り付けられている。しかし, 円型管の場合と異なり, 居留地北側の水路等とは連結されておらず, 街路延長の途中から始まっている。

表-1 管渠の管径, 勾配および管路長

明石町			播磨町			浪花町			京町			江戸町			伊藤町			生田川		
管径(mm)	勾配	管路長(m)	管径(mm)	勾配	管路長(m)	管径(mm)	勾配	管路長(m)	管径(mm)	勾配	管路長(m)	管径(mm)	勾配	管路長(m)	管径(mm)	勾配	管路長(m)	管径(mm)	勾配	管路長(m)
① φ900	1/250	245.3	① ○457.2×609.6	1/300	135.9	① φ900	1/250	325.1	① ○457.2×609.6	1/300	162.7	① ○457.2×609.6	1/300	303.5	① ○457.2×609.6	1/300	225.2	① □450×225	1/220	81.4
② φ900	1/200	122.8	② ○457.2×609.6	1/200	122.4	② φ900	1/200	124.1	② ○457.2×609.6	1/200	122.8	② □450×225	1/200	248.3	② □450×225	1/200	82.8	② □450×225	1/200	55.2
③ □450×225	1/250	241.4	③ □450×225	1/200	131.7	③ □450×225	1/250	332.4	③ □450×225	1/200	185.9	③ □450×225	1/300	138.5	③ □450×225	1/300	150.3	③ □450×225	1/200	47.6
④ □450×225	1/200	96.5	④ □450×225	1/300	135.9	④ □450×225	1/200	96.6	④ □450×225	1/300	162.7	④ □450×225	1/300	85.1	④ ○229or○305	1/11	9.7	④ □450×225	1/200	40.0
⑤ ○229or○305	1/41	14.8	⑤ □450×225	1/200	96.5	⑤ ○229or○305	1/31	13.8	⑤ □450×225	1/200	122.8	⑤ □450×225	1/200	253.8	⑤ □450×225	1/150	42.4			
⑥ ○229or○305	1/41	14.5	⑥ □450×225	1/200	138.5	⑥ ○229or○305	1/31	15.2	⑥ □450×225	1/200	198.6	⑥ □450×225	1/200	56.2	⑥ □450×225	1/1000	22.8			
⑦ ○229or○305	1/41	14.1	⑦ ○229or○305	1/11	17.2	⑦ □450×225	1/205	87.6	⑦ ○229or○305	1/32	11.7	⑦ ○229or○305	1/11	9.3	⑦ ○229or○305	1/12	4.8	管径(mm)	勾配	管路長(m)
⑧ ○229or○305	1/41	13.8	⑧ □450×225	1/210	83.5	⑧ ○229or○305	1/31	11.7	⑧ ○229or○305	1/32	11.7	⑧ □450×225	1/120	60.7	⑧ ○229or○305	1/10	4.9	① □450×225	1/250	83.4
⑨ □450×225	1/30	22.8	⑨ □450×225	1/200	49.7	⑨ □450×225	1/30	15.9	⑨ □450×225	1/105	53.8	⑨ □450×225	1/90	24.5	⑨ □450×225	1/140	42.4	② □450×225	1/250	87.6
⑩ □450×225	1/30	16.2	⑩ ○229or○305	1/12	4.2	⑩ □450×225	1/1000	27.6	⑩ □450×225	1/1000	13.1	⑩ ○229or○305	1/12	4.5	⑩ □450×225	1/1000	23.5	③ □450×225	1/150	30.7
⑪ ○229or○305	1/41	13.8	⑪ ○229or○305	1/10	4.9	⑪ □450×225	1/150	43.6	⑪ □450×225	1/140	55.9	⑪ ○229or○305	1/10	4.5			④ □450×225	1/150	32.1	
⑫ □450×225	1/150	39.3	⑫ □450×225	1/75	21.0	⑫ □450×225	1/125	26.9	⑫ □450×225	1/125	31.0	⑫ □450×225	1/150	42.4						
⑬ □450×225	1/200	58.6	⑬ □450×225	1/75	21.4	⑬ □450×225	1/125	39.3	⑬ □450×225	1/125	28.3	⑬ □450×225	1/150	55.5						
⑭ □450×225	1/125	37.2	⑭ □450×225	1/85	25.5	⑭ □450×225	1/150	49.7	⑭ □450×225	1/1000	33.1	⑭ □450×225	1/1000	24.5						
⑮ □450×225	1/125	32.4	⑮ □450×225	1/85	26.2				⑮ □450×225	1/1000	28.3	⑮ □450×225	1/1000	14.1						
⑯ □450×225	1/175	54.5									⑯ □450×225	1/2000	55.5							

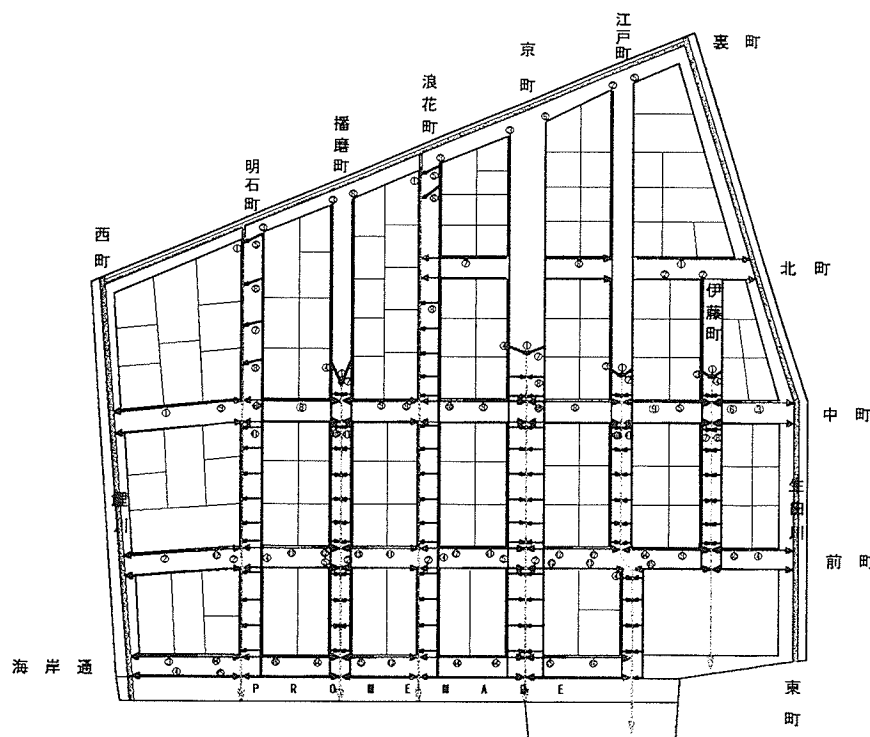


図-3 下水道網と流向図

卵型管は円型管に較べて、流量変動に対して流速変化が小さく、排水中の固形物質を流下させる能力が高い³⁾。したがって、Hart は円型管の場合に、北側水路と連結させ固形物質の流下を図ったと思われる。

東西方向の側溝では勾配が山・谷を繰り返し、南北方向の下水渠各幹線へと下水が流れ込むようになっており、また居留地内の東西端の側溝はそれぞれ鯉川、生田川へと流れ込むようになっている。

南北方向の下水渠では、全ての幹線が南端へと向けて勾配がつけられ、海へと流れ込むようになっている。円型管を用いている明石町、浪花町では側溝から円型管へと一方向に勾配をつけ、卵型管を用いている播磨町、京町、江戸町、伊藤町では両側の側溝から中央の卵型管に向けて勾配をつけているのが分かる。

側溝の勾配は、南北方向については、その側溝から流れ込む南北方向幹線の勾配と同じ勾配が付けられている。また、東西方向では、1/50 から 1/2,000 ままでかなり幅をもった勾配が付けられていることが分かる。南北方向幹線と側溝とを繋ぐ陶管に関しては、1/10 から 1/41 と、急な勾配が付けられている。

図-1 の明治 5 年当時の建物配置と図-3 の下水道網を比較すると、居留地西部では、円型管が用いられた明石町、浪花町に、多くの建物が建設されていることが分かる。逆に、居留地東部では、円型管に比べ管径が小さく、管路長の短い卵型管が用いられ、その南側を除き、建物が建設されていない区画が多く残っていることが分かる。

3. 神戸外国人居留地下水渠の機能

3.1 排水域・下水道管渠のモデル化

J. W. Hart が神戸外国人居留地の下水渠を設計するとき、どのような手法を用いたかは明らかではない。本研究では現在汎用されている下水道計画手法を基本に神戸外国人居留地下水渠の機能を評価することにする。なお、合理式は 1851 年に Mulvaney により発表されている。また、わが国では合理式が使用される以前、Br·kli-Ziegler 公式が用いられているが、1880 年に作られたものである。

図-3 に排水モデル域を示す。居留地の東西橋の排水域は、それぞれ生田川、鯉川に流れ込み、また、居留地南側については直接海に流出する。

卵型管については、前掲の資料に内空幅が縦 24in(609.6mm)、横 18in(457.2mm)であると記載されているだけで、その断面形状は明らかになっていない。そこで、主要な 3 種類⁴⁾(HAWKSLEY' S TYPE, STANDARD TYPE, NEW TYPE) の内、最も形状の類似している HAWKSLEY' S TYPE を修正することで、その断面形状を決定した。

3.2 雨水流出量の計算

雨水流出量計算には合理式および Hawksley 公式を用いる。降雨強度式は神戸市が昭和 39 年から現在も採用している降雨強度式を用いる⁵⁾。流出係数については、

全ての区画に商館等の建造物が存在するものとして 0.4、街路は 0.6、およびパブリックガーデン等の緑地には 0.15 を与える。粗度係数については、煉瓦モルタル積

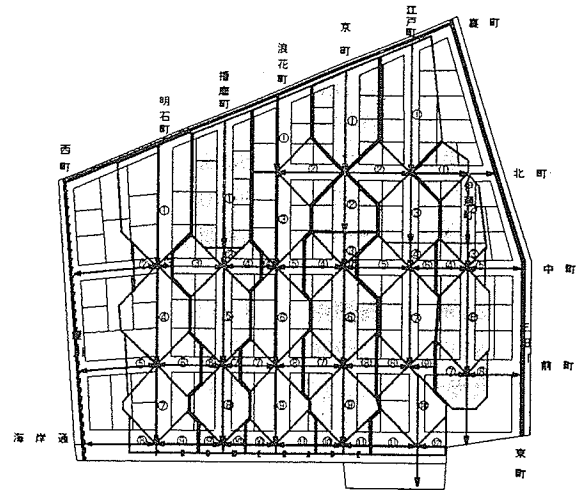


図-4 排水域モデル

み 0.015、陶管 0.013 を採用する。

以下に Hawksley 公式⁶⁾を示す。

$$Q = 3.946A\gamma \left(\frac{S}{A\gamma} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

ここで、Q=雨水流出量(立方 ft/秒)

A=排水面積(エーカー)

γ = 降雨強度(in/時) 1in 前後が最適

S=地表の平均勾配(分数または少数)

なお、降雨強度 γ は 1in を、また、地表の平均勾配 S については、神戸外国人居留地において地表の平均勾配が明らかでないため、各下水渠の勾配をそのまま用いる。

3.3 汚水流出量の計算

汚水流出量については『中島工学博士記念 日本下水道史』⁷⁾にある次の計算式を用いる。

$$S_{\max} = 5.26 \times 10^{-8} aP \quad (2)$$

ここに、 $S_{\max}$: 最大汚水流出量(m^3/s)

a : 一人一日当り最大汚水量(ガロン)

P : 人口(人)

人口は 1905(明治 38)年の 3400 人(外国人 1200 人、中国人 2200 人)⁸⁾を用い、各区画の総面積と下水渠の受け持つ排水面積の割合により振り分ける。一人一日当り最大汚水量 a について、横浜外国人居留地を設計した R. H. Brunton が明治 2 年から 3 年の間に神奈川県令に提出した「横浜水道計画」に記載されている、一人一日当り平均給水量、欧州人 40 ガロン、中国人 20 ガロンを用い⁹⁾、『中島工学博士記念 日本下水道史』の最大汚水量の取り方から、最大汚水量はその 5 割増とする。したがって、 $(1200 \times 40 + 2200 \times 20) / 3400$ から神戸外国人居留地での一人一日当り平均汚水量は 27 ガロン、そして、一人一日当り最大汚水量は 41 ガロンとなる。

3.4 結果と考察

汚水流出量の計算値は雨水流出量に比べ 1/300 以下と殆ど無視できる程少なかった。

合理式を用いた結果を図-5 に示す。図-5 をみると、明石町、浪花町では 5 年確率降雨時、10 年確率降雨時のどちらの時も雨水排除機能を有していることが分かる。また、播磨町では 5 年確率降雨時、10 年確率降雨時とも⑤の管渠で、京町では 5 年確率降雨時は⑥の管渠、10 年確率降雨時は③の管渠で、江戸町では 5 年確率降雨時、10 年確率降雨時とも④の管渠で、伊藤町では 5 年確率降雨時は最終の排出地点で、10 年確率降雨時は⑥の管渠で、それぞれ雨水が溢れ出していることが分かる。

Hawksley 公式を用いた場合は、いずれの円型管、卵型管でも溢水しない結果となった。この原因は降雨強度に最適値である 1in/時を用いたためと考えられる。合理式における降雨強度を Hawksley 公式に当てはめると、降雨強度は 5 年確率降雨で約 4in/時、10 年確率降雨で約 4.5in/時となり、その雨水流出量は合理式で求めたものと近い値を取ることが分かった。

4. おわりに

得られた結論を列挙すると以下の通りである。

1) 神戸外国人居留地煉瓦造下水道の構造

J.W.Hart による「DETAILS OF ROAD AND DRAINAGE WORKS FOR THE FOREIGN SETTLEMENT OF HIogo. 1868」および「PLAN OF FOREIGN SETTLEMENT OF KOBE」から、神戸外国人居留地煉瓦造下水道の構造の詳細を明らかにした。勾配は円型管が 1/250、1/200、卵型管が 1/300、1/200 で、途中で勾配を変える場合は流下方向に勾配が増している。円型管の北端は居留地北側の水路と連結されているように描かれている。一方、卵型管の場合は、居留地北側の水路等とは連結されておらず、街路延長の途中から始まっている。J.W.Hart は円型管の場合に、北側水路と連結させ固形物質の流下を図ったと思われる。

2) 神戸外国人居留地煉瓦造下水道の機能

雨水流出量計算に神戸市で現在用いられている合理式を用いた場合、円型管を持つ明石町、浪花町では 10 年確率降雨時でも雨水・汚水排除機能を有している。一方、卵型管を持つ播磨町、京町、江戸町、伊藤町では汚水排除機能は有しているが、5 年確率降雨時の段階で雨水排除機能を有していない。Hawksley 公式を用い、降雨強度を 1in/時とした場合は、いずれの円型管、卵型管でも溢水しない結果となったが、降雨強度の取り方に問題があるかもしれない。

汚水流出量は雨水流出量に比べ無視しうる量と推定された。

以上より、J.W.Hart は神戸外国人居留地煉瓦造下水道を汚水排除に適した構造に設計したものと思われる。

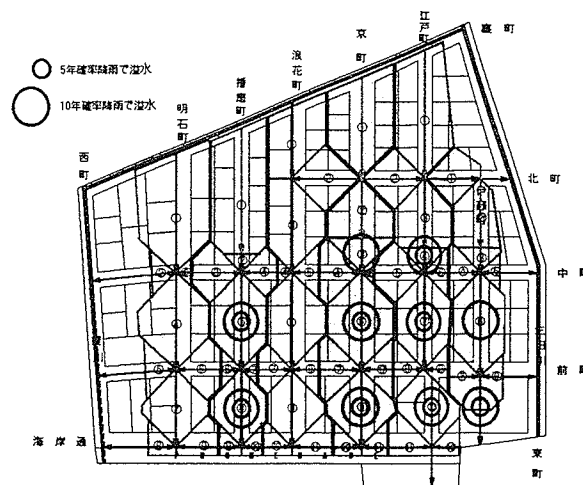


図-5 5 年、10 年確率降雨での溢水状況

謝辞

神戸外国人居留地に関する資料収集にあたり、神戸市建設局下水道河川部、神戸市博物館、および神戸市立中央図書館にお世話になった。記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 『日本下水道史—技術編—』, 日本下水道協会, p. 44, 1988.
- 2) 神吉和夫: 五港開港と水道, 大熊孝編: 『川を制した近代技術』所収, p. 196, 平凡社, 1994.
- 3) NATHANIEL BEARDMORE: MANUAL OF HYDROLOGY WITH HYDRAULIC AND OTHER TABLES, p. 10, 1862.
- 4) 桜井次郎: 『鉄筋コンクリート バイコン卵型管』, pp. 8-9, 1979.
- 5) 『江戸町 2 合雨水幹線他既設煉瓦水路調査業務委託, 設計図書一式』, 第 2 編 設計, p. 2, 1983.
- 6) 広瀬孝六郎: 『下水道学』, 誠文堂新光社, p. 97, 1960.
- 7) 『中島工学博士記念 日本水道史』, 同事業会, pp. 176-177, 1927.
- 8) 坂本勝比古: 横浜と神戸のまちづくり, 横浜開港資料館紀要, 第 3 号, 横浜開港資料館 pp. 91-96, 1984.
- 9) 樋口次郎: 横浜水道計画, 横浜開港資料館紀要, 第 2 号, p. 103, 1984.