

波浪の屈折及び回折について

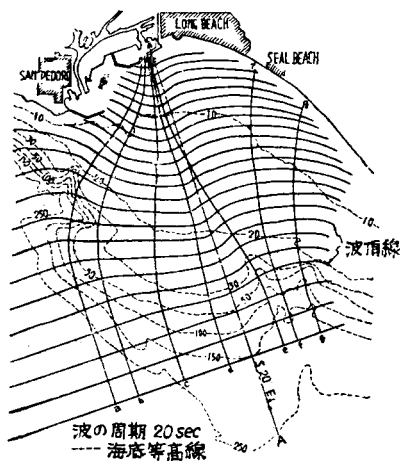
J.W. Johnson, Engineering Aspects of Diffraction and Refraction, Proc. ASCE, Separate No. 122, March 1952, pp. 1~32.

California 大学では、原著者 Johnson 及びその他 O'Brien, Putnam, Arthur, Blue, Isaacs 等が海の波の屈折及び回折について理論的研究及び実験を行っており、これらについての論文は折に触れて同大学報告または米国地球物理協会誌 (Trans. AGU) などに発表されているが本論文はこれら既発表の諸論文を総括して特に実用化に便ならしめようとしたものである。

(1) 波浪の屈折及び波高の変化を示す図表 (refraction diagram)

波は水深が十分深い部分では海底の影響をほとんど受けずその波の波長に固有の伝播速度で進行するが、波が自己の波長の 1/2 程度よりも水深の浅い部分に到達すると海底——従つて水深——の影響を受けようになり、波の伝播速度は水深の浅い箇所ほど小くなってこのため海岸に近附くに従つて波は屈折をする。このため波頂線(波頂の位置を上方から見下した曲線)は次第に海底の等高線に近附いてゆく。この状況及びこの結果生ずる波高変化を明らかならしめるのが ref-

図-1 Refraction 図



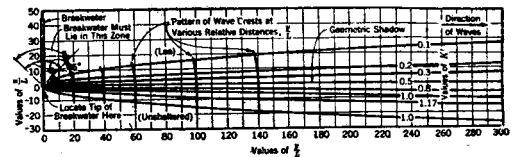
raction 図 (以後 R-図と略称)である。図-1 は R-図である。このほぼ横方向の各曲線(実線)は一つの波面(従つて波頂線)が海岸に向つて接近してゆく時つきつき取る形状を示し、各点ごとにおける水深から波の伝播速度を周知の計算式により計算してそれによりつきつきと画いてゆくことができる。図-1 の縦方向の各曲線(波頂線に常に直交している)は波頂の径路線である。エネルギー保存の関係から、任意地点の波高はその地点における径路線間の間隔の平方根に逆比例することを示すことができるので、径路線の密に集つている所ほど波高は高く、粗なる所ほど波高は低いことがわかる。従つて図-1 の R-図から、Long Beach 及び San Pedro の海岸では波は全くないと言つてもよいのに Long Beach の防波堤の突端附近でだけ波がいちじむしく高いことがわかる。これは同海岸南方にある比較的浅い部分(同図海底等高線参照)が、侵入してきた長波長の波を屈折させて光学レンズの収斂作用のように、ほとんどすべての波を防波堤突端に向けて屈折収斂させるためであつたことがよくわかる。

(2) 波の回折

防波堤による波の回折の問題に対しては (i) 波高は波長に比べて十分小さいこと、及び (ii) 港内の水深は到るところ一樣であること、の 2 つの主なる仮定のもとに一樣媒質内の光波の回折と同様な理論的取扱いがなされた。その結果の一部が図-2 及び図-3 に示される。

図-2 は半無限長の半島堤に直角に進行してきた波についての回折図である。もし斜めから波が進行して

図-2 半無限長の半島堤による回折図



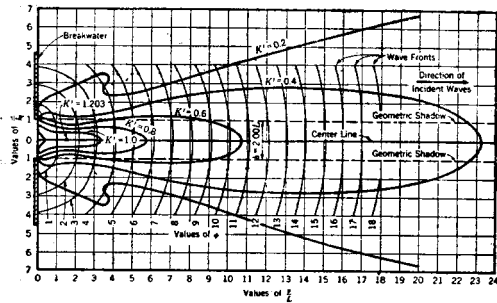
(L: 波長, K': 沖波の波高との比の値で示した波高)

くる場合(ただし ±45° 以下のこと)には防波堤突端を原点 0 とし、これを過ぎて岸方向にかつ沖波の方向と平行に引いた線を y 軸、これと直角に x 軸をとつて図-2 の回折図をそのままあてはめれば実用的に差支えない。

二本堤でかつ港口巾が小なる場合には波は両方の防波堤突端より回折し、さらに回折波が港内で相互に干

渉するため、図-2の場合といちじるしく異なつてくる。図-3は港口巾が沖波の波長のちようど2倍の二本堤における回折図である。ただし港口巾が沖波の波長の5倍程度以上に大になれば両側の防波堤による

図-3 二本堤による回折図



(ただし港口巾が沖波の波長の2倍の場合のもの)

各回折はほぼ相互に無関係になり、従つて実用的には図-2の半島堤の回折図を両側に各あてはめてこれをあわせればよい。また比較的狭い港口に斜めに波が入射してきた場合(ただし $\pm 20^\circ$ 程度以下のこと)には入射方向に直角な方向への港口巾の正射影をとり、新たにその港口巾を有する二本堤の入口に直角に波が入射してきたものと考えて図-3を適用すれば実用上差支えない。

本回折の理論はよく実験的にも確かめられている。しかし港内の水深は到るところ一様であるという仮定の下における理論であるので、この仮定にいちじるしく反するような状況の場合については回折のほかさらに港内での波の方向屈折などの影響を生じ結果は大部分變つてくる。

### (3) その他

波が流水中に進入した時の波高の増大、及び波が流れに斜めにぶつかる時の波高のいちじるしい増大の様を示す一般図表などが示されてある。

(中央大学 林 泰造)

## 電気滲透法による湿潤土壌の安定工法

Construction Methods and Equipment, April 1953.

ミシガン州 Essexvill 所在の Consumers Power

Co. の John C. Weadock 発電所では、既設の発電所(発電機6台)に第7と第8の発電機を増設中であるが、この工事でウエルポイント工法に電気滲透法を併用して、崩壊しやすい湿潤土壌を安定にし、矢板または他の水切り工法を施さずに21ftの溝を掘っている。発電所はSaginaw河畔にあり、冷却水をとるために河と平行して河から約40ftの距離に設置され、河水面は地表面から3~4ft下にある。地盤は上層18ftが飽水砂、その下13ftは砂質シルト、次の19ftは軟弱泥炭質シルト、最下層は滞水砂層となっている。

既設発電所の場合には、建設を三段階に分け冷却水管用の深い溝は内部締切を行つて掘つたが、各段階とも掘削に相当困難した。新設の発電機は既設の発電機より大きくなつていたので、前よりも条件は悪かつた。

まず地表面から標高583ftの河水面まで3~4ftの表土を除去し、220×300ftの掘削区画周辺にウエルポイントを立てて地下水を標高565ftまで下げ、そこまで掘削し砂全部とシルトの少量を除去した。この間に区画の西端河沿いに2列の矢板、既設工作物保護のため他の側辺にも1列の矢板を打ち、また発電所の底板支持用のコンクリート杭のシュル打込作業に取りかかつた。

第3段階として底板の下標高556ftまでの掘削にかかつたが、サブステーション直前の矢板が動き出したので標高565ftまで埋戻した。そこで止水工事をWellpoint Dewatering Corp.に別途に請負わせ、揚圧力を抜くために前記の第1段のウエルポイントのほかシルトの下の滞水層まで貫いて、標高565ftから標高533ftまで真空ウエルポイントを設備した。しかし矢板の動き出しをとめることができず、ウエルポイント工法のみではだめなことが明らかとなつた。

Wellpoint Dewatering Corp.はLeo Casagrande博士と、電気滲透法の利用に関し独占協定を結んでおり、同博士は電気滲透法を発展させ特許をとつている。彼はヨーロッパでもこの工法を4回ほど用いており、ノルウェーの潜水艦基地の掘削の安定化も彼の業績である。彼等はシルト層の安定化に電気滲透法を用いることを提案し、実施することになつた。その原理的説明は後述する。

第2段のウエルポイントを陰極として用い、この間に陽極としてパイプを打込んだ。モーター発電機で80V、低アンペアの電流を流し、また排水を助け電圧を減ずるためにウエルポイントに主管(header)とポンプを用いた。

その影響は驚くべきものがあり、水は間もなくウエ

ルポイントから滴り始め、周辺の地面に沸々と湧き出て、3~4日でシルトは固まり、杭打工は工事を再開し第3段の掘削も困難なしに必要な傾斜で進行した。

さらに区画中央の冷却水管の溝を11ft掘り下げねばならず、確実を期するため溝線のすぐ外側に内部電極を設けたが、外側の電極の効果を最高度に試験するため、この内部電極には電流を通さず、結局最後まで通す必要もなかった。外側の電極だけで掘削にはclay spade、溝の部分にはクラムシェルバケットを用いたほど安定になつた。電流は1日24時間1週7日間通し続け、土壌の安定化は電極附近が最大で、これから離れるほど減小していた。当初シルトは30~50%の水分を含んでおり、滲透法による水分減小の測定はしなかつたが、少しでも水分が減ると土のせん断強度はいちじるしく増すことが認められた。

電極周辺では相当程度の電気分解がおきて陽極パイプが蝕され、補強棒をパイプ内に打込んで補強した。

Leo Casagrande 博士の電気滲透法による土壌安定化の原理は Boston Society of Civil Engineering 1951年1月10日号(1952年に Harvard Soil Mechanics Series No. 38 として再刊)に載っている。この原理を簡単に説明するが、微粒のシルトまたは粘土で細孔は顕微鏡的寸法、水の動きは、毛管現象による場合が対象である。1807年 Reuss が多孔質隔膜に電位をかけると水は陰極に向つて動くことを発見し、

1879年 Helmholtz は電気2重層仮説でこれを説明した。すなわち毛管内の水は自由水と毛管壁近傍の境界層とに分れ、境界層は壁に固着した負の帯電層と移動可能な正の帯電層に分れる。毛管に電位を与えると、正電荷は2重層の水を引張りながら陰極に向つて移動し、自由水も次第に引張られる。ウエルポイントのごとく陰極が流出を許す構造になつていると、水はパイプ中に押込まれ非常に高圧(3kg/cm<sup>2</sup>)で上端に向つて上昇する。

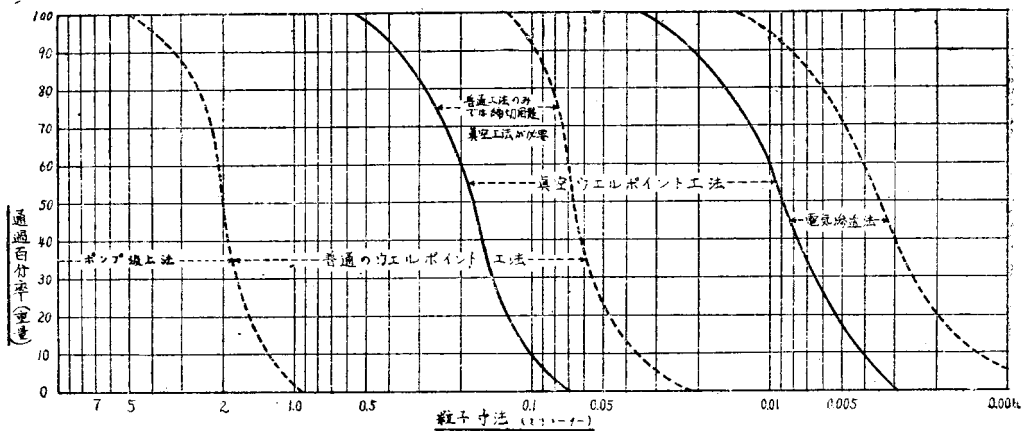
毛管の水が抜けると細孔は縮少し、地盤が締め固まる。実験したところでは陰極の1本を地上20ftまで伸ばしたが、水は減量することなく上端から滴下した。

専門家は土壌の安定化に対する電気滲透法の万能性についてためらっているが、明り掘削同様、湿潤微粒土壌が問題となるところではトンネルや鉱山にも適用できるだろう。必要な電圧、アンペア数及び電極間隔は研究室内での土壌解析から定められるが、最上の組合せは現場実験で求められると思われる。

工事はウエルポイント工法と同程度である。

なお参考のために Tschebotarioff 氏著、"Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures" に示されている、土の粒度により定まる止水工法の区別を掲げる(図-1)。

図-1 土壌粒土と止水工法関係図



(建設技術研究所 大久保忠良)

## 米国陸軍技術部コンクリート 工事示方書の改正について

Recent Changes in Corps of Engineers Concrete Construction Specifications, By G.L. Otterson and W.L. Burgess. Journal of A.C.I., Apr. 1953.

陸軍技術部では、最近コンクリート関係の標準示方書の改正を行った。

改正の特徴は、(1)骨材の適否を耐久性、有機不純物、すりへり試験の成績で規定するかわりに、あらかじめ試験によつて適当と思われる骨材の採取地1ヶ所以上を指定することにした、(2)コンクリートの品質は、強度、w/c、およびセメント使用量によつて示方しない、そのかわり技術部が目的に応じた品質が確保できるように配合を設計し、管理する責任を負わねばならぬこととした、(3)コンクリートの品質については技術部側が責任を持つことになり、請負者側の施工活動が自由になつたので、単価を決めて請負うというやり方(小割式)が有利となつたこと、である。以下改正の要点を挙げる。

**骨材：**骨材の取扱い、貯蔵、骨材プラントの設備方式等は示方せず、コンクリート ミキシング プラントに骨材が到着した時に適当な粒度と均等性が確保できていればよい、とした。従つて、請負者側はこの要求に応じるべく、最善の方法を採用すればよい。また、細骨材の粒度、粒形、均等性の限界値も各工事ごとに定めることとした。例えば、セメント使用量の少ないマス コンクリートに対しては、細骨材の粒度と均等性は特に厳重な規準とするが、セメント使用量の多いコンクリートでは、この規準はあまり厳重になくともウォークアブルなコンクリートはできるから、それよりも規準を緩和することにより骨材の生産単価を下げてやる方がかしこい方法である。

**セメント：**II型セメントをすべてのコンクリート工事に用いることとした。天然セメントまたは高炉セメントを混合したセメントも経済的に有利な場合には用いてもよい。IV型セメントはII型にくらべコストが安い地方で、マシブな構造物を造る時に使用される。ポゾランについては研究を続けている。

**エア エントレインメント：**最大寸法 40 mm 以下の骨材を用いるコンクリートで、従来空気量の限界が3~6%であつたのを、4~7%にあげた、これによりウォークアビリティ、不透水性、耐久性を増し、ブリーディングを減じた。

**ミキシング プラント：**2種以上の粗骨材を用いる場合には、各別々に計量できるウェィ バッチャを

用いることとした。1個のバッチャで積重ねて計量する方法は誤差が多い。コンシステンシー メータおよびセメント計量記録装置は、経済的にあまり役立たずその必要はない。

**養生：**コンクリートの養生期間は使用セメントの種類に応じ次のとおりとした、III型セメント：7日間、IおよびII型セメント：14日間、IV型またはII型と天然、高炉セメントとの混合：21日間、湿潤養生ができない場合は封緘剤を用いて養生してもよいとした。

**仕上面：**コンクリートの仕上面を外観の重要度に応じて、A, B, C, Dの4クラスとした。Aは建築の外壁等、Bはダムの表面等、Cは水溝壁面等、Dは打継面等で外へでない面である。A, B, C, Dに対する凹凸の限界は局部的の場合、それぞれ3, 6, 3~6, 25 mm、なだらかな凹凸では、それぞれ6, 12, 6, 25 mm 以下とした。

**温度応力のコントロール：**技術部では、ダムの築造にあたり、縦断方向の施工継目をなくすることに成功、これにより大きな重力ダムの場合いちじるしく工費が節減できることになつた。それには、コンクリートの温度上昇をコントロールして、容積変化を少なくすることである。温度のコントロールは構造物の大きさ、使用材料、工事の規模に応じ、基本、Aクラス、Bクラスの3段階に分けられる。基本コントロールでは、(1)II型セメントの使用、(2)できるだけセメント使用量を減じる、(3)1リフトを1.5 m以下とする、(4)コンクリートの表面温度の急速低下を防ぎ4°C以上変化しないようにする、ことをきめている。これは高さ15m以下の重力ダムに適用される。Aクラスコントロールは高さ15~45 mダムに、Bクラスコントロールは高さ45 m以上のダムに適用されるもので、それぞれ基本よりもさらに厳重な温度管理を示方している。

以上述べたほか、打継目の水止めには銅板またはゴムの使用を示方しているが、最近ではゴム使用が増した。プレキャスト コンクリートはトンネルのライニング、水中コンクリート、補修工事等において、普通コンクリートにくらべ工費が同じで、でき上りの品質も同じ程度が期待できる場合には採用してよい、と示方していること、等がある。

[訳者註] I型セメントは日本の普通ポルトランドセメントに、II型セメントは普通と中庸熱ポルトランドセメントの中間に、III型セメントは早強ポルトランドセメントに相当する。IV型セメントは低熱セメントで、日本には相当するものがない。

(鉄道技術研究所 杉木六郎)

## Preloading による基礎沈下の調整

Control of foundation settlements by preloading.

S.D. Wilson; Journal of the Boston Society of Civil Engineers, Vol. 40, Jan. 1953. p 10~24

はしがき

ある種の基礎工事では preloading が非常に経済的なことがある。これは構造物に等しいかあるいはそれ

図-1

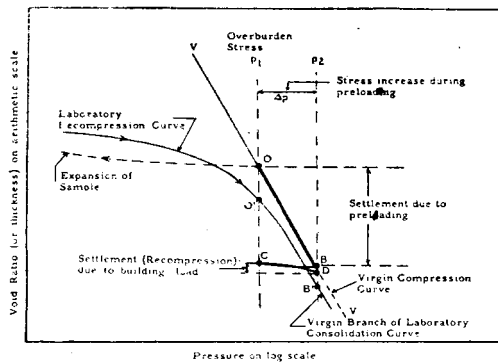


Fig. 1. Comparison of settlements during preloading with settlements during recompression.

以上の荷重を工事前に働かせ、沈下をあらかじめ起させてしまう工法である。

preloading の原理は、圧密試験の土の間隙比（あるいは層の厚さ）と荷重の対数との関係（図-1）から説明できる。図-1のO点は地中ある深さでそれまでに圧密されていた状態を示し、この土の不攪乱土を採取して圧密試験を行うと、図中の曲線のごとき関係が得られる。地中の土が載荷荷重により圧密をうけるときはO点よりV-Vの直線に沿って、荷重増加に対応した沈下を起す。すなわち $\Delta P$ の荷重をかけるとB点まで沈下し、これを取去るとC点にもどるが、B、Cに対応する間隙比（あるいは厚さ）の差はほとんどない。これにまた荷重が $\Delta P$ だけかかってもD点までしか沈下せず、沈下量は非常に少ない。すなわちpreloadingによりOBに相当する沈下をあらかじめ起させ、次にloadを取去つて構造物を造つてもCDに相当する沈下しか起らぬというわけである。

この説明には長時間の荷重による2次圧密の影響は無視してあるが、無機質の土では比較的これは少ないが、有機質の土では大きいため構造物より大きな pre-load を与えるような注意が必要である。この工法の

欠点は載荷後沈下がほとんど終了するまでに要する時間が長く、厚い粘土層等では数10年にも達することである。しかし後述するようである程度対策も立て得るし、利用できる場合も多い。

### 実例 1 Philadelphia のある倉庫

現場の断面は図-2のごとく、不等沈下の可能性が大きい。倉庫は370×1130 ftで、側壁は5 ftの高

図-2

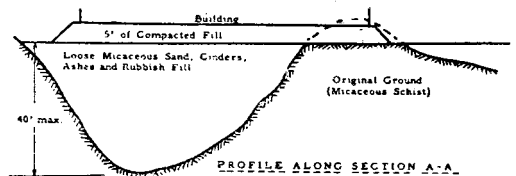


Fig. 2. Foundation conditions at site of American Stores Warehouse

さの拡がった footing を持つ壁で支えられる。沈下を起す軟弱層は最大40 ftの厚さで、図のごとく場所により非常に違う。沈下の予備測定を100 ft四方の11 ft厚の盛土により行つたところ、8日でほとんどの沈下が終了した。このときの最大沈下は4 inで6 ftの surcharge を取去つたとき0.12 in膨脹した。

工事は床高まで砂利交り砂で6 inの層に約3 ft締固め、surchargeには6 ftのまきこぼしを行つて2週間の preloading を行つた。施工は全面積を三分し、3回に分け各部分20 ftづつ重なるようにし、外側にも余裕を取つた。沈下の実測は予想されたように不等沈下を示し、surchargeを取去つたとき、0~10 inの沈下があり、不等沈下は60 ftで6 inに達した。このとき膨脹は1/2 in以下であつた。

内部の柱の基礎、及び側壁基礎にそれぞれ設計荷重の150%を24時間与えたとき0.1 in, 0.08 inの沈下があり、うち50%は弾性的であつた。工事終了後数ヶ月で床版には亀裂は認められず、杭基礎に較べ非常に安価に成功した。

### 実例 2 飛行場滑走路拡張のための盛土

沼地の10~20 ftの有機質粘土層上に高さ約10 ftの盛土をして4000×700 ftの滑走路拡張を行つた例である。粘土は83 lbs/cu. ft (約1.3 t/m<sup>3</sup>)で含水比142%、または粘土層の下は相当耐力あるシルト質砂とシエルである。単に盛土をしたとき予想された沈下量は5ヶ月で約5.5 inであつたため次の諸工法を比較した。

i) 粘土層の上半分を置換え、2~3ヶ月盛土したま

ま放置し、圧密を起させてしまう(約9ヶ月, 60万弗)。

ii) 粘土層全部の置換え(7ヶ月, 75万弗)

iii) Sand drain による沈下促進(準備を含め12ヶ月, 55万弗)

iv) 仮盛土厚を倍にし、沈下を促進する(9ヶ月, 43万弗)

iv) では5ヶ月で沈下が約 11 in で、5.5 in は約1ヶ月で起し得ると予想された。それ故 iv) の方法を用い、沈下測定結果は、設計荷重により起るべき沈下量より大きな沈下が preloading により起きたように思われた。約6ヶ月の preloading で粘土層厚は約半分になり、含水比は142%より67%に減少した。

考察 この工法の欠点は i) 圧密に要する時間の長いこと、ii) 多量の材料を必要とすることである。i) に関して実際の所要時間は圧密試験より予想される時間

より、1次元圧密と3次元圧密の差、垂直と水平方向の透水係数の差(水平方向が大)のため短くなる。この解決策として surcharge を大きくすること、及び sand drain の応用が考えられる。

ii) に関して、多量の材料のないときは、Kjellmann<sup>1)</sup>の方法で圧密を加速できる(粘土層上に砂、砂利をおき、膜で覆いその中を真空ポンプで減圧する。約20ftの盛土に相当する圧力を働かし得る)。また地下水位を下げ有効圧を増加させる方法(Well pointの利用)も考えられる。

1) W. J. Kjellmann: "Consolidation of Clay Soils by Means of Atmospheric Pressure", M. I. T. Conference on Soil Stabilization, June 20, 1952

(東京大学 渡辺 隆)

### 38 卷 6 号 講座 正誤表

| ページ | 行            | 誤                                 | 正                      |
|-----|--------------|-----------------------------------|------------------------|
| 55  | 右欄 13        | (7) 曲線の選定                         | 3. 曲線の選定               |
| "   | " 14, 32, 43 | 各節の i) ii) iii) はそれぞれ (1) (2) (3) | と変る                    |
| 56  | 左欄 21        | iv) その他曲線に関する注意                   | (4) その他曲線に関する注意        |
| "   | " 22, 31, 44 | 各節の a) b) c) d) はそれぞれ i) ii)      | iii) iv) と変る           |
| "   | 右欄 11        |                                   |                        |
| "   | " 21         | (8) 駐車場の選定                        | 4. 駐車場の選定              |
| "   | " 22, 34     | 各節の i) ii) はそれぞれ (1) (2) と変る      |                        |
| 57  | 左欄 17        | iii) 停車場内外の勾配と本線有効長及び曲線           | (3) 停車場内外の勾配と本線有効長及び曲線 |
| "   | " 18, 32     | 各節の a) b) c) はそれぞれ i) ii) iii)    | と変る                    |
| "   | 右欄 13        |                                   |                        |
| "   | " 23         | (9) 線路の輸送能力                       | 5. 線路の輸送能力             |
| "   | " 24, 37     | 各節の i) ii) iii) はそれぞれ (1) (2) (3) | と変る                    |
| 58  | 右欄 3         |                                   |                        |