

- ① 新潟ガス田の坑水圧入実験…………… 2
- ② 湾曲結晶による蛍光X線分析装置…………… 8
- ③ 海底調査の新威力 白鯨号と東海号……………11
- ④ 藩英2年の生活を顧みて② 学会……………14
- ⑤ 各国のクリスマスカード……………20
- ⑥ 各部課を尋ねて 9……………21

関東山地の御荷鉾山および三波川付近から南東にのびる地域は 多くの結晶片岩類が分布し 「御荷鉾系 三波川系」の模式となっている 有名な自然公園である埼玉県の長瀧はその中にある 各種の結晶片岩類が広く露出し 自然の博物館となっている
 虎岩は公園の上流よりの河原にポツコリと突き出ている露岩で 石英 斜長石などからなる白い部分と スチルプノメレン(stilpnomelane)の黒い部分とが みごとなシマ模様を画き出して この名が与えられている
 スチルプノメレンは 菱成岩に産する黒雲母の一種で このように多量に産することは珍らしい(石)

キヤノンP キヤノン100mm F3.5 f16 1/30秒
 ネオパンF 月光V-3 コレクター

新潟ガス田の 坑水圧入実験

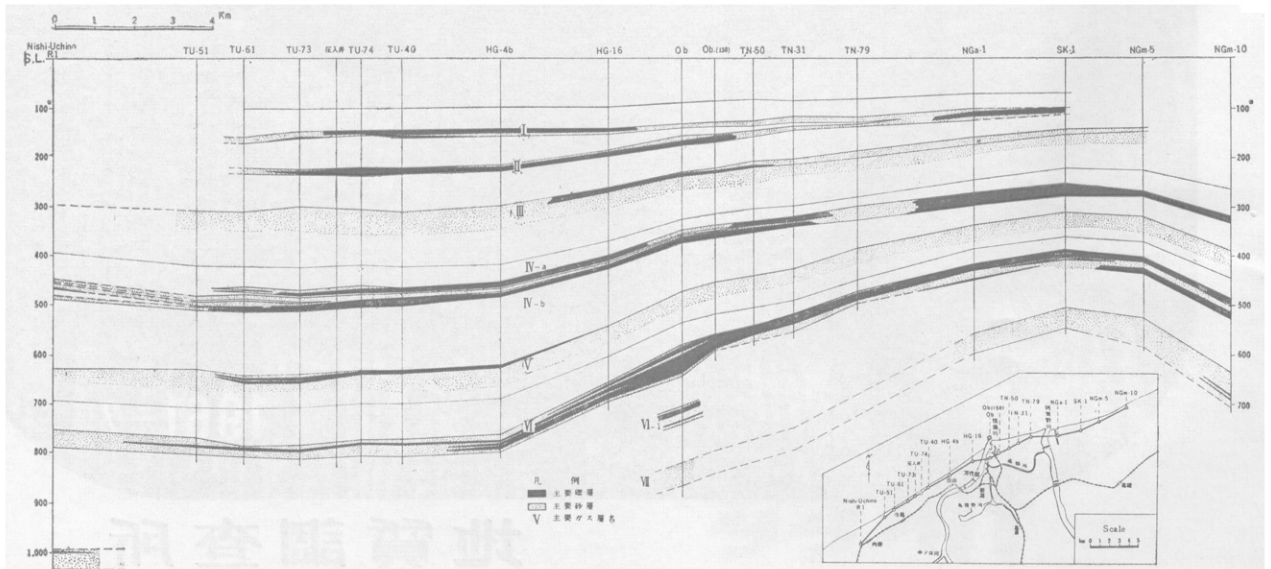
新潟ガス田は日本の水溶性ガス田のうち第一級の可採鉱量を有し フィールド生産量も最大であることを誇ってきた。しかし不幸にもここ数年来 著しい地盤沈下の災害をこうむり ガスの生産は 沈下の主原因と判断されて数次にわたり 生産規制を受けるに至っている
 いま ここで沈下の原因についての多くの論説を紹介しようとは思わないが 結局 昭和34年6月24日資源調査会の行った報告(同会報告第11号)において「主原因は地下水の急激な大量揚水であるという説を重視せざるを得ない」と認定されたことが今日の揚水量規制強化の発端であり また 水圧入計画実施の母体となったことをあげておこう。

元来 新潟市地域はごく浅層からも水溶性ガスを産しこれと因果をなして 水質上工業用水はほとんど地下水を使用していない。そのかわりガス採取井は多数存在し 深度400~800mに位置する主力ガス層(IV V Ⅵ層)

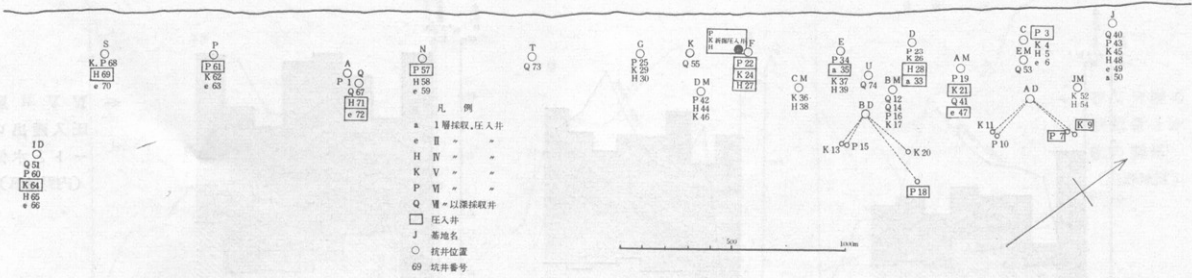
のみでも最盛期には400,000kl/日を越える揚水を行っていた。そして 揚水レート・累計揚水量の急速な増大に伴ない 主力層とくにV Ⅵ層の水位が 顕著に低下していったのも事実である。

綿密な水準測量の定期的反覆 沈下観測井による測定結果は 沈下速度の増減と水位との間に明白な相関現象のあることを示している。もしたとえば 傾動のごとき地殻運動などを主原因とするなら 人為的な採取地区の移動 揚水レートの変動に沈下速度が密接に追従することはないのであろう。沈下地域の偏倚性その他もあって 沈下の原因のすべてがガス層の水位低下であるとは必ずしもいえないであろうが 沈下の抑制に水位の回復・維持が大きな役割を果たすと予想することは自然である。そのために 最も安易な道は揚水を停止することであるが それではせっかくの天与のガス資源を放棄せねばならない。

国土の保全か 資源の開発かの最後の関頭に立つ前に



(第1図) 新潟ガス田の主要ガス層



(第2図) 内野地区坑井配置図

もしも揚水レートを減少せしめてなお経済的に資源を利用しうる道が残されているならその方法を十分研究し試みる必要があることは理の当然であろう。

水圧入実験は純然たる沈下対策または復旧工事を目的としているのではなくわれわれとしては沈下を抑制しさらには終息せしめた上ガスの生産を続けることが可能か否かを知ることに終局的目標をおいている点を理解して頂きたい。過去の生産および水位変化の記録を閲覧するとガス層の処理によって水位を特定深度以下に下げさせないためには揚水レートを著しく減少せしめるかあるいは相当規模の水圧入をする必要があると判断される。今回の実験規模はこの意味において十分なものとはいえないが水圧入に関しては経験的に知るべきことが多いから基礎実験としては満足すべき程度と考えている。

実験の目的

圧入の実際技術 圧入能力と地質との関係 圧入水の挙動 および圧入の水位に及ぼす影響を知ることが主目的である。なお今回は圧入水源としてガス坑井の排水(ガス付随水)を用いガス層への還元圧入の形をとっている。以上の目的を達成することは次の段階としてさらに大規模な圧入を実施したり水圧入を企業内に取られる際に基礎的情報を与えることを可能とする。また排水困難な土地における水溶性ガスの探鉱開発に際し排水処理の一方方法として圧入を試みる場合にも寄与しうるであろう。

圧入計画

一当初計画と現況一
圧入は帝国石油KKとの協同研究として行い同社鉱区の内野地区全域にわたり圧入井を展開する。圧入対象層はI-V層のうちIII層を除き他の全層とするがとくにIVVの3層に重点をおく。

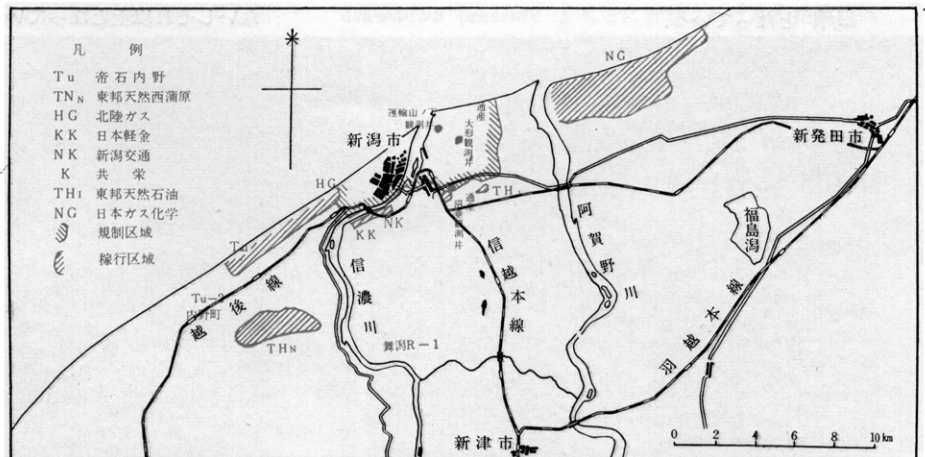
圧入井 圧入は新たに掘さくする口径13インチの圧入井(以下新掘井と称す)と既存ガス坑井の転用による圧入井(一般井と称す)の2種によって行い。新掘井はIVV3層同時圧入井としIV層孔明管上方で中間遮水を行った。一般井は内野地区VII層以浅採取井56坑井のうち14坑井としほかに観測井として3坑井を設けた。すなわち:

層名	残存生産井	圧入井	停止井
I (G ₁)	0	1	0
II (G ₂)	7	2	0
III (G ₃)	1	0	0
IV (G ₄)	7	3	1
V (G ₄)	12	3	1
VI (G ₅)	12	5	1
合計	39	14	3

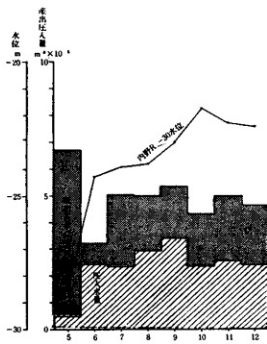
14坑井の圧入井のうち5坑井は自然流入他はプロイガー深井戸ポンプを使用して水を圧入することとした。また新掘井には10kg/cm²までの能力を有するタービンポンプ3基を以て圧入するよう計画した。

以上の計画に対し圧入開始後の状況にかんがみ現在は別表のごとく変更をみている。すなわち:

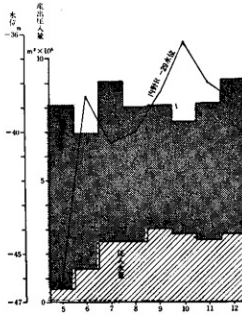
一般井の圧入方法は第6図に示した通りである。すなわち通常1基地に4坑井前後の使用可能井があるから生産井の排水はガス水分離槽の角槽内隔壁をこわして作った通路を通して最後に圧入井となった坑井の角槽内に流入しうるようにしポンプ圧入井では一度ポ



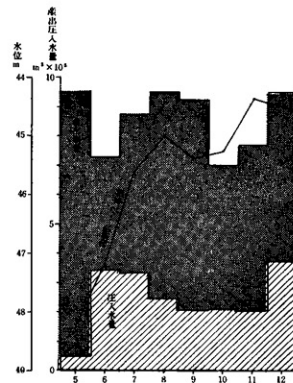
(第3図) 新潟ガス田採取規制地域



IV (G₄) 層



V (G_{4'}) 層



VI (G₅) 層

← IV V VI 層
圧入産出レ
ートと水位
(内野地区)

(第4図)

層名	圧入井	註
I	2	
II	2	
IV	4	
V	4	
VI	5	他に改修休上井 1
合計	17	在籍圧入井18

註 停止井は 圧入井に編入した

ンプを設置したサクシオンピット中に水を導いてから当該坑井に圧入される。

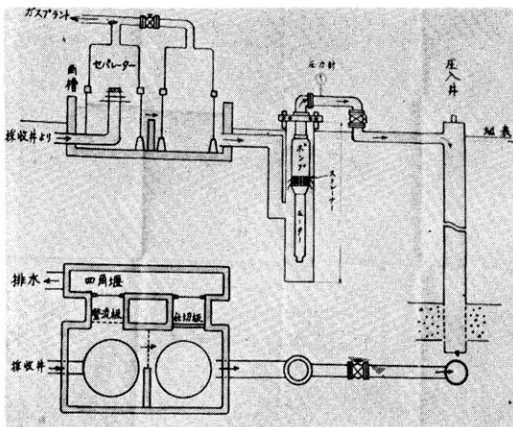
圧入水量 35年2月における内野地区Ⅶ層以浅の実績揚水量は 109,200 kl/日 (月平均)であったからこれをもとに約半量を還元圧入するよう計画した。すなわち残存生産井の産出予定量 99,100 kl/日に対し一般井により 36,700 kl/日 新掘井により 15,000 kl/日 計 51,700 kl/日を圧入目標にとった。しかし実際圧入を開始してみると一般井は総量において目標量に近く圧入しえたが 新掘井は当初 予定量の $\frac{1}{4}$ 程度しか圧入し得なかった。加うるに一般井のうち 出砂埋没による流量減をみたものや 破孔を生じて圧入を加減または停止したものも出現して 漸次総圧入水量が減退してきたため 新掘井の再洗坑を行うほか 停止観測井の圧入井への転用を行うなど 圧入水量の増加に努めることとした。その結果 現在では別表のごとくなっている。

なお 45,700 kl/日のうち新掘井の圧入水量は 8,770 kl/日となっている。

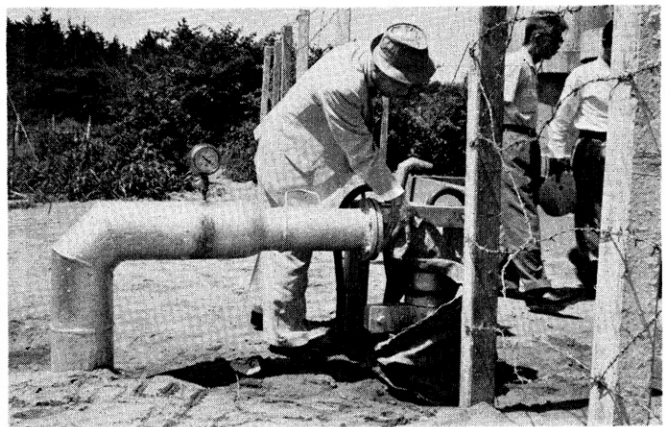
36年1月9日現在の層別圧入状況

層名	圧入水量 (kl/日)	累計圧入水量 (kl)	平均圧入水量 (kl/日)	圧入%	全産出水量 (kl/日)
I	4,640	944,000	4,200	14	7,300
II	2,490				
III	—	—	—	—	1,900
IV	14,390	1,891,000	8,400	29	18,720
V	9,470	1,808,000	8,000	27	33,680
VI	14,710	1,967,000	8,700	30	31,560
合計	45,700	6,610,000	29,300	100	93,160

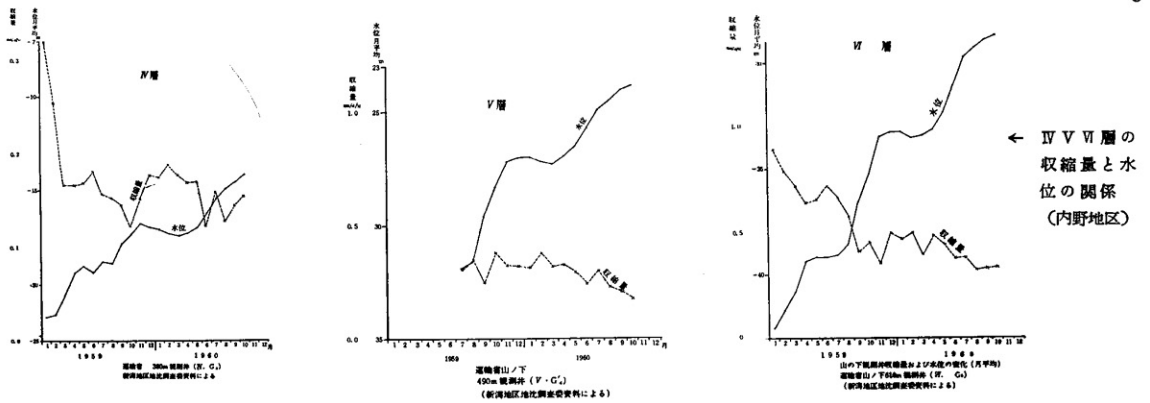
圧入井の展開 第2図に圧入井の分布を示したF基地のR22, 24, 27の各坑井は当初それぞれⅣⅤⅦ各層に対する水位観測 および新掘井からの圧入水フロントを捕捉する (新掘井より約90m東方) 観測井としたが 最近圧入井に転用されタービンポンプによる圧入を実施中である。各層とも圧入井が 1基地おきに配置されていることが多いのは 上述した水源のとり方 およびフロントの捕捉に便なるよう浅層 (Ⅰ~Ⅳ層)には深層 (ⅤⅥ層)の水を圧入し 深層には浅層の水を圧入するように計画したことに基づいている。鉦区の東端各基地に圧入井がないのは 隣接鉦区に圧入水が channeling する危険を考慮したことにより また新掘井周辺基地に圧入井がないのは 新掘井(および現在ではF基地圧入井)の水源取得とフロント到達の観測を考慮したことによる。なお 生産井と圧入井との間隔は 350~400m ないしそれ以上となっている。



(第5図) 一般井圧入系統図



(第6図) プロイガー深井戸ポンプによる圧入



(第7図)

計量と観測 一般井の水量計測は

- (1) 水源となっている生産井の産出能力と その基地の放流量との差引計算で求める
- (2) プロイガーポンプ吐出圧力と特性曲線とより求める

の2方法を併用してチェックする。自然流入井は (1) のみによることとなる。

新掘井は 8 インチ電磁流量計をもって総合流量を計測し 層別流量は13インチ口径に合うよう とくに製作した 3 基のスピナーを管内に定置して計測している。いずれも電子管型自記記録計が付してある。なお これら各種の流量計取付け以前は 総合流量をオフィス流量計 層別流量は時おりスピナーを降入して仮計量を行っていた。

水位の観測はⅦ層について内野R 2号井 舞瀧R 1号井に自記水位計を取付けた。また 圧入井編入以前は F 基地 3 坑井 (Ⅳ. Ⅴ. Ⅵ層) に自記水位計を取付けてあった。そのほか関屋地区にⅤ・Ⅶ層観測のため自記水位計が取付けてある。また他機関の管理する自記水位計設置カ所が 関屋～新潟飛行場までの間に多数ある。これらの連続水位記録のほかは 鉱山保安局の水位観測指示坑井が 各層にわたり多数ガス田全域に散在しているので 毎月の水位変化状況を知ることができる。なお圧入井あるいは圧入水の侵入した坑井では 本来の地層水と著しく比重をこととした水が管内に入るため 比重補正を行わないと 相対的に水位を比較できなくなる

ことがある。そこで適宜坑底圧力を測定して 管内圧力勾配を調べることも行っている。比重補正量は 当該深度の2～4%に及ぶことがあるから 水位にして20 mを越えることもありうる。

圧入水が channeling をどの程度するものかは 当初予想がつかなかったので 産出水 圧入源水の Cl^- の測定を繰り返し行っている。これと共に 異状の認められる坑井については 坑底圧力の測定 坑底試料の採取を実施し 圧力勾配 Cl^- ガス水比の測定を行ってフロント到達状況を監視している。

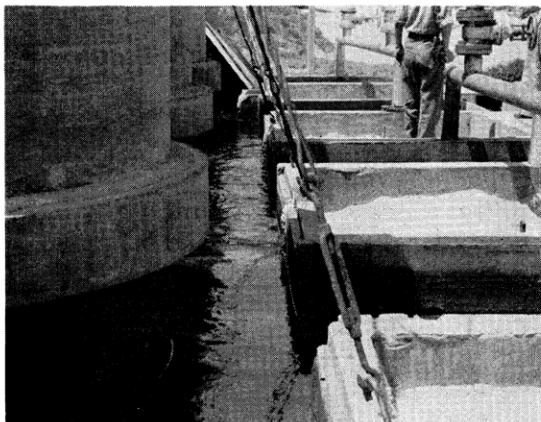
圧入結果について

圧入実験は 35年5月20日に圧入を開始し 36年度も継続することになっている。したがって最終的な結論・見通しを述べる段階ではなく かつ十分解析も行っていない故 現在まで得られた知識の一端を記すことにとどめる。

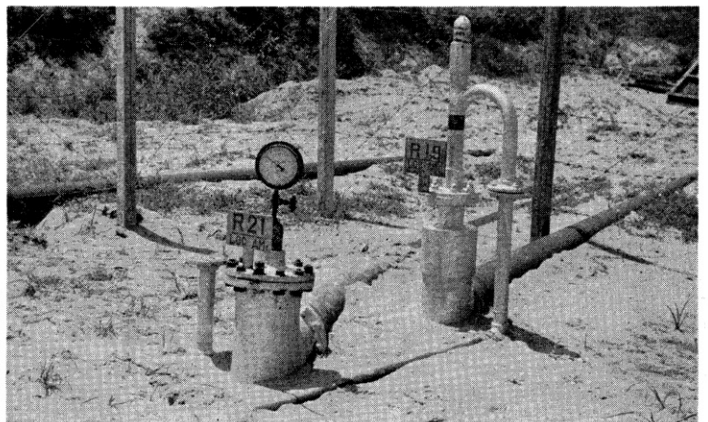
(1) 圧入指数と産出指数

本格的圧入に先立って実施された圧入予備実験 (河渡地区 R 114号井 河川水圧入) において 既に圧入指数が産出指数に比し かなり小さいであろうことが予見された しかし この時は 通船川の河水を使用したこと および圧入に際し気泡の混入した疑いのあること等から 定性的にしか判断されていなかった。

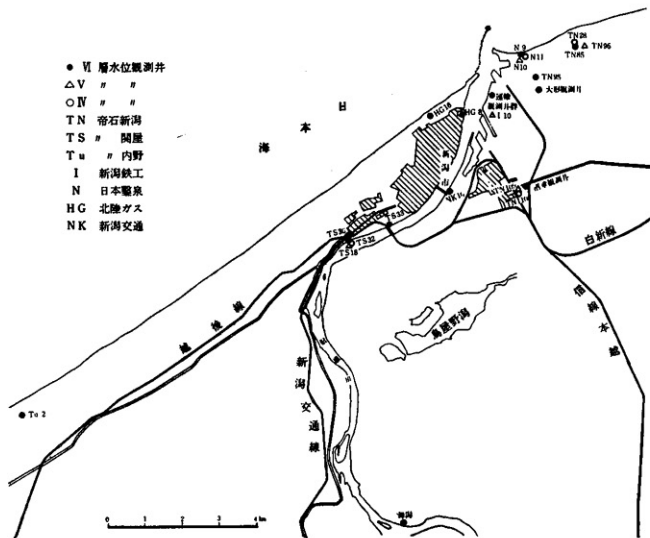
Amerada 型坑底圧力測定器によって求められた drawdown pressure をもとに計算された産出指数既知



(第8図) ガス・水分離槽 角槽内の隔壁を除いてある 圧入井基地



(第9図) プロイガー深井戸ポンプによる圧入井の坑井頭



(第10図) 水位観測井配置図 (自記水位計を設置した坑井)

の坑井で 今日圧入井となっている 若干の坑井を拾い出し圧入指数を坑口圧力 水位および液柱比重をもとに概算して比較してみると おおむね 圧入指数は 産出指数の4~25%程度であることが判る。絶対値として圧入指数は 数十~数百 kl/日/KSC 位のものが多く、坑底圧力を実測して求めた圧入指数が 679 kl/日/KSC であるR-3号井の例は やや値の大きい方に属するがそれでも東側隣接基地での同一層 (VI層) 採取井産出指数は6,370 kl/日/KSC という記録があり 両指数比はかなり小さいと想定される。

自記水位計に記録された隣接井の運転・停止の影響による水位変動から計算されたガス層の浸透率は F 基地近傍において 10~20 darcys 内外 (VI層) 30~40 darcys 内外 (V IV層) と推定される。他方 圧入井の運転停止後の水位降下より計算された浸透率は 1例ではあるが小さい値が得られている (R64号井 V層 7darcys) これは圧入指数が産出指数に比し 小さいことに対応した現象のように思われ 今後圧入井近傍の skin effect を調査する必要性を示している。

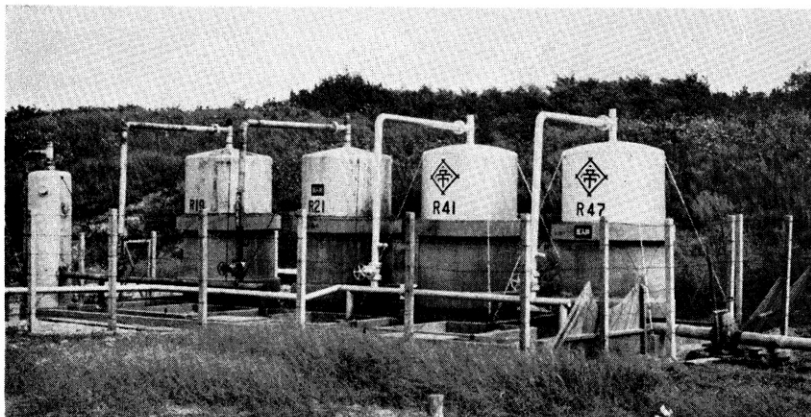
以上は一般井の場合であるが 新掘井では両指数比はさらに小さくなっている。とくに VII 層においてこの現

象が著しく 圧入坑口圧力が 9.6 KSC の時 圧入指数は 77 kl/日/KSC 圧入圧力平均 27.5 KSCの時圧入指数はわずかに 57.8 kl/日/KSC となっている。この新掘井では諸種の事情から 十分長くリフト洗坑を実施しなかったことに全体的な原因があり また最下層の VII 層は 多層同時仕上げのため 最も洗坑の効果が入らなかったため 著しく小さな指数を示すに至ったと考えられる。

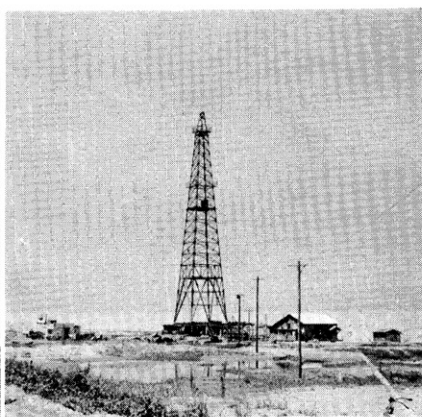
要するに長期間生産した経歴を有する単層採取井は 新掘井より圧入井として一般には 適当であろうと判断される。

(2) 圧入水の channeling

実験開始前圧入水が生産井に向かい 著しい channeling を起すのではないかと心配したが 今日までのところ 積極的にかかる現象を証こだてる事実は現われていない。生産井産出水の水質観測により 圧入水の影響を受け始めたと思われる坑井が 若干認められてきたが その最も著しい例として R52号井をあげることができる。本坑井は V層採取井であるが 9月上旬 11月上旬にそれぞれ坑底資料を採取したところ 孔明管下部より次第に 塩分の高い水が侵入しつつあることが判明した。これは隣接基地の V層圧入井 R9号井より圧入された高塩分水のフロント到達を示すものであるが その到達時期は累計圧入水量 有効層厚 孔隙率より 真円状にフロントが前進したと仮定して計算した場合の侵入到達時期とほぼ適合している。他の例として 新掘井と観測井 F 基地 R27号井 (IV層) の関係をあげることができる。後者の孔明管下部で採取した坑底試料によると 8月20日に $Cl^- = 3,020 \text{ mg/l}$ ガス水比 0.74 10月7日に $Cl^- = 6,030 \text{ mg/l}$ ガス水比 0.24 となっている。8月下旬に前例と同様計算した圧入水圏の半径は 69m 10月上旬で 100m となるから 坑井間隔 90m に対し やはり著しい channeling はないと判断される。



(第11図) 圧入井の基地 R21...プロイガーポンプ圧入井 R47...自然流入井



(第12図) 新しく掘った圧入井

内野地区は地層がほとんど水平であるが 著しく舌状を呈する channeling はないと推定され かつ圧入水フロントの到着が始まっても ガス水比の低下は 予想したより急激ではない。

(3) 圧入井の实际的障害

新掘井は 既存井に比し圧入しにくいことは既に述べた。しかし既存井の場合の欠点として 過去の生産期間中にケーシング管がいたんでいると 圧入圧力のため破損しやすい傾向がうかがわれる。一旦破孔を生ずると出砂埋没 あるいは いわゆる「棚をかける」ことになり 圧入し得なくなるから 破損の徴候が現われた時は圧入圧力を低く保持することになり 圧入水量が減退することをさげられない。

圧入井は圧入を停止すると 一般に出砂埋没を引きおこす。実験計画において 当初圧入井に関する各種測定を企図したが 結局わずかしか実施しえなかったのは 運転停止後の出砂埋没が著しいことに気付いたからである。ちなみに観測井水位記録から計算したガス層(IV~VI層)の圧縮率は $1.3 \times 10^{-4} \text{atm}^{-1} \sim 6 \times 10^{-5} \text{atm}^{-1}$ 程度であって比較的大きい。既に述べた skin effect の問題とともに あるいはルーズな砂礫層からなるガス層の弾性に関係がありはしないかと想像される。

(4) 圧入による水位の回復

第4図に内野地区の主要3ガス層について 圧入・産出レートとこれに関係ある水位とを示した。圧入の効果とは 揚水量の減少効果にほかならない。最も単純に考えれば 内野地区を1坑井と想定し 揚水量を減ざればそれに比例して drawdown pressure が小さくな

る。すなわち水位が上昇するわけである。実際には外周の他の操業区域の影響が波及してくるため あるいは内野地区内でも 揚水量(放流量)は常に変動するため水位変化は単純ではないが 大きく揚水量が変動した後の短時間の水位変化を拾い出すと 両者は良く対応している。ただ ここに注意を要することは たとえ圧入をしても放流量が相当の規模である限り 揚水レート減少による過渡的水位上昇は いずれ峠に達し 新しい揚水レート(放流量)に応じて 再び水位が降下し始めるであろうということである。

結 言

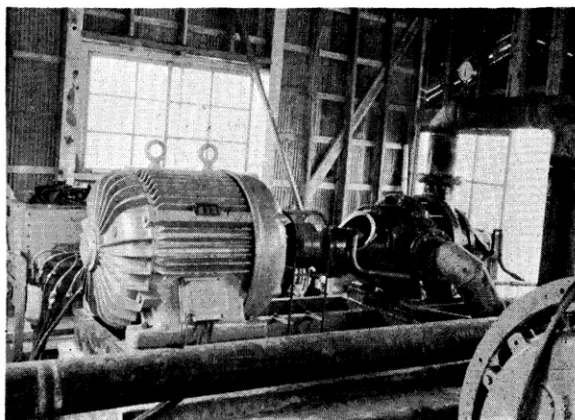
今年度実施している ガス付随水の還元圧入に関する 現在までの経過概要を述べたわけであるが 地盤沈下対策としての圧入技術を考慮すると なお海水または河川水を圧入源水として 長期間圧入しうるか否かの問題が残る。第7図に例を示したごとく 沈下速度と水位とは 明らかな相関を有するから 新潟市の場合 相当量の地表水を市街地において 地下に比較的容易に圧入でき 圧力コーンを維持しうれば 沈下の対策として1つの有力な試みになると思われる。

また新潟ガス田の水溶性ガスの生産を維持しようとするなら 還元圧入はやはり有力な1手段と思われるが 効率の良い圧入方法 圧入と可採鉱量との関係 企業内に取り入れた場合のコストの問題などは 今後さらに研究を要することであろう。今回の実験データは いずれ詳細に報告されるが 各方面のお役に立てば幸いの上もない。

(燃料部 石油課)



(第13図) 新掘井の孔明管



(第14図) 新掘井のタービンポンプ室