

# 新潟地震による新潟火力発電所 構内地盤の挙動について

東北電力 新潟火力建設所

遠藤 泰志

## § 1 ま え が き

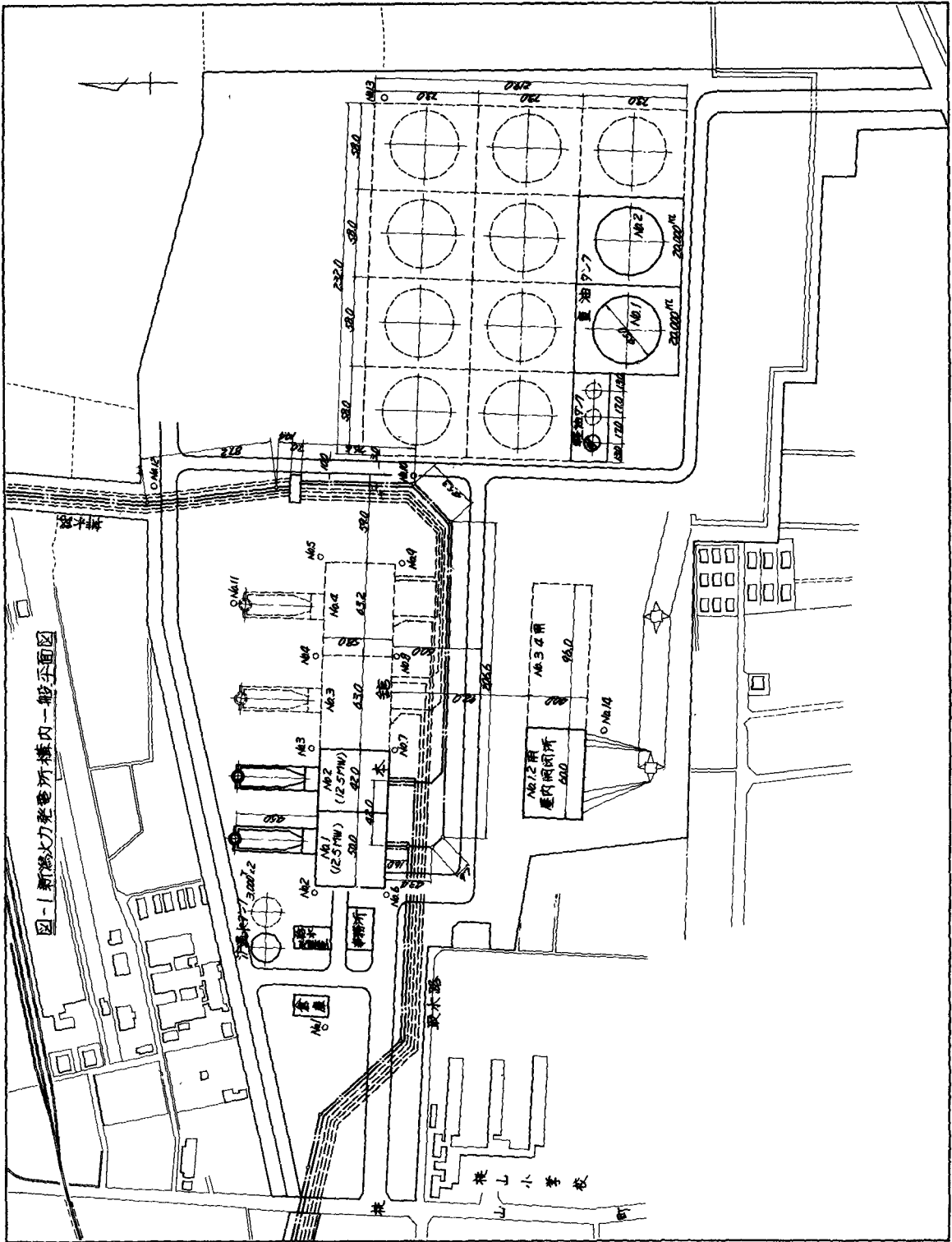
新潟火力発電所は、急増する電力の需要に対処するため、当社最大の重負荷地帯である新潟県に計画された日本海沿岸では本邦初の大容量新鋭火力発電所である。昭和36年3月新潟市信濃川河口の臨港工業地帯の一角に建設工事着工以来、昭和38年7月並びに10月には第1期、2期工事として各12.5万kWを完成、現在営業運転中であり、第3期工事2.5万kWは今年末の完成をめざして、すでに発電所基礎及び建物は完了し目下機械据付の段階にある。

扱、昨年6月16日13時2分、北日本、関東方面をおそつた新潟地震に依り、当火力発電所も激しい地震動を感じたが、幸にして発電所構内工作物の被害はごく一部の地下埋設管ジョイントの破損、満杯状態にあつたタンク躯体上部の変形等の軽微なものにとどまり、特に重要構造物である発電所本館、屋内変電所等は、微少の等沈下を生じたのみで構造物、機器類には全く被害がなかつた。然しながら発電所構内の地表面にも小規模ながら地割れ、沈下、隆起等の地震に特有な変動を生じ、隣接した発電所構外低地部には噴砂現象が見られた事等に依り、大きな被害はなかつたとは云え、構内基礎地盤も相当な影響を受けたものと思われた。そのため発電所建物周辺を中心として構内16ヶ所に7月末より1m毎に標準貫入試験及び粒度分析試験を伴う調査ボーリングを実施し、工事着手前に行つた近傍の調査記録と対比しながら地震動に依る比較的浅い部分の地盤の変化について考察を行い、今後の調査、設計の資料とした。茲にその概要を述べる。

## § 2 地震前の構内地盤の土質

発電所敷地を含む新潟市の周辺一帯は、信濃川、阿賀野川の堆積土砂による比較的新しい沖積層であると云われている。

現在の発電所構内はGL=3.00mに切取、盛土整地されているが、着工前は構内の北側一帯及び西側にEL1~4mの独立コンターを持つた砂丘があり、現在の発電所、重油タンクヤード変電所一帯は所謂0mの湿地帯であつた。尙この砂丘は風成層とも云われている。発電所の一般



平面図を図-1に示す。

発電所の建設工事は1、2号機を殆ど同時に着手したので、調査ボーリングは着工に先立ちまず1、2号機関係より着手し、工事の進捗に伴い3号機、4号機と逐次進めて行つたが、調査と工事の時期的関係は表-1の様である。

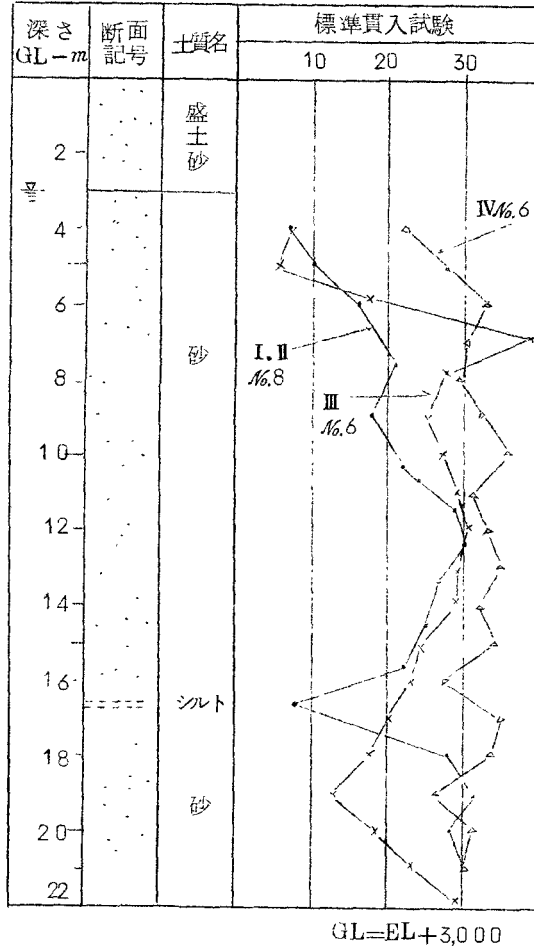
表-1 調査工程表

工種	年 月	35					36					37					38					39				
		12	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8	10	2	4	6	8
1、2期調査ボーリング		[Gantt chart bars]																								
同上発電所基礎工事		[Gantt chart bars]																								
3期ボーリング		[Gantt chart bars]																								
同上発電所基礎工事		[Gantt chart bars]																								
4期ボーリング		[Gantt chart bars]																								
盛土工事		[Gantt chart bars]																								

地震

表-1に示す様に3期の調査ボーリング当時は構内盛土整地工事が約半分完了し、1、2期発電所基礎工事は略々完了していた。又4期調査の時期は盛土工事完了後1年、3期発電所基礎工事完了後8ヶ月位経過している。各調査結果の1例として、各発電所中心点に於ける比較的浅い部分の貫入試験結果の比較柱状図を図-2に示す。まず1、2号機の調査ボーリング結果に依ればE L 0より-60m近く迄は砂層であり、E L -6~-15m間にごくうすいシルト層が数枚介在していた。図-2にも見られる様にE L 0(当時のG L)より-2m~-4m程度迄はルーズな砂で以下E L -13m附近迄中位、その下は密な砂であつた。ところで図-2に見られる様に地盤表層のN値は調査時期がおそい程大きくなつている。これは特に4号機地点の地盤成因が他と異つているとも考えられず、他の何れの調査結果もこの様な傾向にある事より工事過程に於けるウエルポイント、盛土の効果と考えられる。この効果については後述するが、地震直前の構内地盤表層のN値は何れも4号機調査結果と同等の増加をしていたと考えられるが、地震前後の密度変化の考察には地震直前のデータがないため調査当時のN値を用いた。

図-2 1. 2期、3期、4期比較柱状図



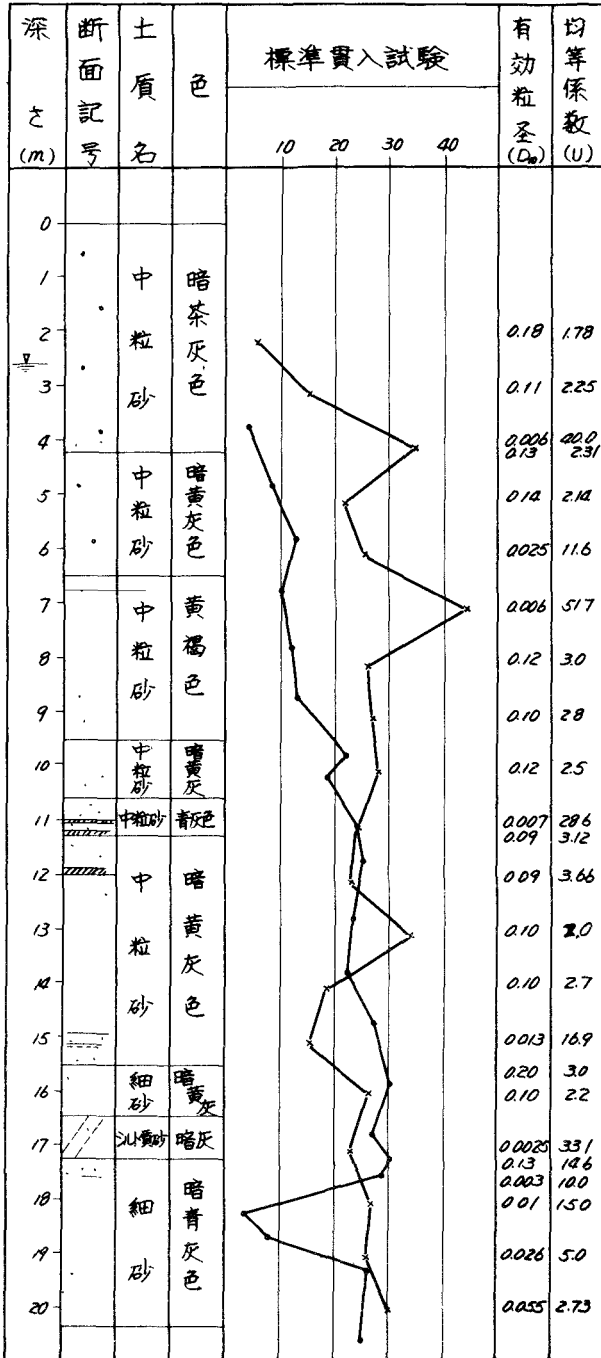
### § 3 地震後行つたボーリング結果並に密度変化について

#### (a) 限界N値について

地震後行つた調査ボーリングの位置は図-1に併記した通りである。その柱状図の一例を図-3に示すが、この図は近傍に於ける事前ボーリング結果も記入して、地震前後に於ける密度の変化を比較したものである。

一般に砂は振動等の刺戟により、弛い砂は締つて密になり、密な砂は膨張して弛むと云われている。この中間の締りも弛みもしない砂の間隙比を限界間隙比といつている。砂の場合間隙比は直接相対密度に関係する事より、今回の地震に依りN値の変化しなかつたような、即ち限界間隙比に相当する相対密度を有する砂のN値を仮に限界N値と名づけ、当発電所周辺地盤に

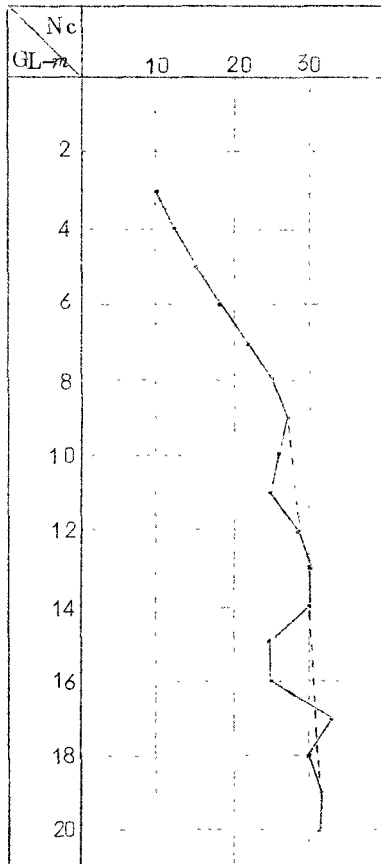
图-3 No.2土質柱状断面图



註 ○ 地震前 × 地震後  
G.L. = EL 284

於ける限界N値について考察してみる。限界間隙比は鉛直荷重、砂の粒度組成、粒形、振動の規模に依つても変化すると云われているが、こゝではまず鉛直荷重を考慮に入れて、各深度毎に地震前後のN値の変化を求めてみると図-4の様になる。調査地点が少ないのでやゝ判然としない点もあるが、この図は今回の地震に依る砂の限界間隙比の現場試験を行つたと同等の事を意味する。図-4でシルト或は小さな礫に当つた様な少数の特殊な点を除いて考えれば、大体地震前後で密になつたグループと弛んだグループに分かれ或は1点に集中している。このグループの中心点を結んだ線が軸と45°の角度を有する、即ち変化しない線と交わる点が限界N値を示す。これによつて求められた限界N値と深度との関係を図示すると図-5の様になる。もし

図-5 深度-限界N値



基礎地盤が天然のままであり、粒度組成、粒形も同一な砂であれば限界N値は或る深度迄は深さに比例して増加するはずである。図-5で点線で示したのが推定限界N値の線である。

(b) 粒度組成、粒径がN値に及ぼす影響



図-3で見られる様に地震後N値の特に増加した点は均等係数が著しく大きい値を示している事がわかる。図-4で地震後の値が特に大きくなっている点は何れも粒度分析を行つてみると均等係数の大きな所謂粒度配合の良い砂となつている。一般に有効粒径、均等係数が大きく、角ばつた砂は振動に依り間隙比が減少し密になり、反対の場合は所謂流動化を起し易いと云われている。当火力地盤の場合は海岸の沖積層である為、粒形は丸味をおひており、有効粒径も割合小さい。然るに所謂流動化、噴砂現象の見られなかつた事は、比較的粒度配合が良く天然地盤も表層を除き密であり、ルーズな在来地盤の表層は後述するウエルポイント、盛土に依り改良された事に依ると考えられる。尚図-4で地震前後のN値が1点に集中しなかつたのは、この粒度配合に依る外に前述の調査時期の相違に依る地震前N値の取り方に依るものと思われる。この事は図-4で深度の深いGL-17~20m近辺の前後のN値が比較的集中化している事からも云える。然しながら図-5に見られるGL-10~11m、特に-15~-16mの深度では地震後N値の弱まつたものの方が多い。これについて次項で考察を加える。

#### (c) 地下構造物のN値に及ぼす影響

地震後の構内調査ボーリングは主として発電所周圍について行つていたので、先づ簡単に発電所の基礎について述べる。基礎工法としては画期的なマンモスケーソン工法を採用した事に依り、その設計、施工については既に各方面に発表済みであり、周知の事と思われるので、ここでは今回の調査解析に必要な事のみ記述する。

発電所地点の在来地盤はE L 0であり、表層の2~4mは非常にルーズであつた事は前に述べた。このためケーソン工事施工上、最初の沈下堀削開始の時に刃口にかかる荷重を透減し、刃口に充分な支持力を持たせるため、刃口据付地盤面をE L - 5mにおく事にし(揚圧力を利用する)、ウエルポイント排水に依り堀削を行い、刃口据付、躯体コンクリート打設後ケーソン四周をE L + 1m迄埋戻し、外周を巾3.6mに互いE L - 6m迄バイブロフローテーションに依り締固め、沈下時に於けるケーソンの偏位を防止すると共に、ケーソン外壁のスキンプリクシオンを高め、又沈下工に依る周囲地盤の弱化防止をはかつた。ニューマチックケーソンの最終刃口高はE L - 1.3mであつた。この刃口高をG L よりの深さに換算すると丁度前述のG L - 1.6mの深度に当る。ケーソンは沈下工完了後、刃口部で載荷試験を行いその後作業室部分に充填コンクリートを打設している。ケーソン底部の砂は密であり、その後発電所上載荷重の増加に依り、更に密実になつていたと考えられる。従つて地震動によりケーソン底部の締つた砂は膨張し、ケーソン躯体に上向きの力を加えるが、上部構造物は相当の重量を有し、しかもケーソン周囲の剪断抵抗も瞬間的に減じるので沈下しようとする



る。このため膨張したケーソン底部の砂は横方向に圧力を及ぼしケーソン周囲刃口附近の密な砂が剪断変形を起したために $N$ 値が低下したものと考えられる。このような現象は地震後ボーリング $\#1$ 、 $\#14$ の倉庫地下室、鉄塔基礎底面附近にも見られた。ケーソン底部の膨張して横方向に剪断変形を起した分だけ上部構造物は沈下したと思われる。従つてケーソン底部の砂は更に締固められ密度の低下は来たしていないと考えられる。もしこの場合ケーソン底部の砂がルーズであれば震動に依り密にはなるが、相当大きな沈下は免れず、又 $N$ 値が不均一であれば不等沈下を起していたであろう。ケーソン工法でなくオープン堀削等の工法で施工した場合には、とかく埋戻しが不十分になり周囲がルーズになるので基礎底部の砂が密であつても、横方向に膨張しやすい事より、沈下、傾斜はまぬがれなかつた事と思われる。この様な事より基礎根入れを大きくし、ケーソン工法を採用した事は今回の地震に対して非常に良い結果を与え、パイプロを行つていた事は更に良い効果を与えたものである。尚 $GL-10m$ 近辺の $N$ 値の低下は、冷却水路の基礎杭の先端がこの近辺深度に当るので上記と同じ考え方が出来るものと思う。

(d) ウェルポイント、盛土の効果について

今回の新潟地震に依り所謂液化現象を起した新潟市内の地盤の限界 $N$ 値は $N_c = 10 \sim 15$ と云われている。この液化現象については、限界間隙比より大きな間隙比を持つた砂は振動に依り締まるうとするが、その際に土粒子間に存在する間隙水が土粒子の圧縮に依り瞬間的に圧力が増大し、過剰間隙水圧を生じる為であると云う説もある。この為今迄上載荷重を支えていた土粒子の有効圧力は過剰間隙水圧に変わり、土粒子の有効圧力は消滅してばらはらの状態になる。この過剰間隙水圧の上昇に依りルーズな地下水位の高い砂層にあるマンホールの様な中空で底面の大きい構造物は地表に突出してしまうし、重量構造物は恰も水中に土粒子が浮いている上に乗つた様な状態になるため大きな沈下を生じる。更に新潟の様に阿賀野川、信濃川にはさまれた地下水の高いルーズな砂地盤では、地震動に依り地下水は恰も貯水池の水が震動を受けた様な状態になり、上昇した間隙水圧並びに建物の沈下に依るポテンシャルエネルギーが水圧上昇のエネルギーになるのと相俟つて地表の弱い部分に噴出する所謂噴砂現象を呈するのではないかという推定も出来る。この噴砂現象は発電所敷地に隣接する他の低い敷地にも見られた事より、もし発電所構内か由来地盤のままであつたとしたら、表層の近期 $N$ 値が $EL-4m$ 程度迄 $N < 15$ であつた事より当然同じ様な現象を生じ、 $EL-4m$ より浅く基礎を置いた構造物は相当大きな被害を受けていたものと考えられる。然しながら前述の発電所基礎をはじめ附属構造物の基礎は杭、地下室等に依り深い密な層に根入れを行つていたため損害を免れると同時に、その施工過程に於いて使用したウェルポイントに依りルーズな在来表層地盤は締固

められ更に好結果を与えたものと思われる。ウエルポイントに依る砂の締固めの原理については、土粒子吸着水の表面張力に依ると云われているか、地下水恢復後の密度の変化については未だ確実なデータは得られていない様である。然しなから揚水前より密度が増加している事は、杭打等に依つても確認出来る。理論的にウエルポイントに依る締固めはサーチャージの増加を伴わない為限界間隙比の減少にはならないか、自然間隙比を減少させ、同一条件の限界間隙比に近づく効果はある。当火力の場合構内殆ど全域に互つて構造物が存在するため、在来ルーズであつた地下水以下の表層地盤はこの効果に依り全域に互り密になりN値の増加をもたらしたと思われる。この事は例えば基礎杭の有効根入れ長さを大きくする事と同等の価値があり、更に前述の様に建物周囲地盤を締固める事に依り振動に依る構造物の沈下、傾斜の防止となる。

又構内のO地帯全域に互つて行つたEL 3 m迄の盛土もウエルポイントと同等の効果があつたと思われる。この場合はサーチャージの増加を伴うので、在来地盤の自然間隙比 $e$ を減少させると同時に、限界間隙比 $e_{cr}$ の減少も伴う。この際に $e$ の減少量 $\Delta e$ が、 $e_{cr}$ の減少量 $\Delta e_{cr}$ より大きければこの段階に於ける安定地盤となるが、これは実験を要する。然しながら盛土を行わない場合に比較すれば土質的に見ても有効であり、地震に依り上昇する過剰間隙水圧を阻止し、地盤の弱화를防止した事はまちがいない。

## § 4 あ と が き

今回の地震に依り我々は多くの事を学び、砂に対する認識を新たににした。本稿を結ぶに当り、今後砂地盤の調査、設計をするに当り特に感じた事の2、3について述べ参考としたい。

大ていの土の本には書いてある事ではあるが、新規計画地点を調査する場合はまず古地図に依りその地盤の成因を調べる。これは今回の地震に依り全く被害のなかつた新潟市の中心部である古町近辺は、古地図に依ると昔島であつた事がわかり、大きな被害を受けた川岸町、下大川前等は昔信濃川の流路であつた事によつてもわかる。更に航空写真、地図等に依り附近の地勢についての調査を行うべき事は勿論である。

基礎地盤調査については、土質調査法その他多くの本に書かれてある通りであるが、砂の不攪乱試料採取の困難な現段階では、N値の応用法が理論的、経験的に相当発達しているので、経済的、工期的に許される範囲で、出来るだけ詳細に測定し、同時に採取される砂の粒度分析を行う。又この際地下水位面を正確に測定する事も大切である。構造物の重要度に依つてはその周囲地盤についての調査も必要であろう。

基礎の根入れを検討する際には、重要構造物であれば支持力から考えてもルーズな層はさける

ので心配ないとは思いますが、軽量構造物の場合支持力だけで判定する事は危険であり、地下水位の高い、均等で細粒の砂、ルーズな砂である場合には、地震時の流動化についても検討する必要がある。又重量構造物であつても上記の様な砂が表層或は中間に存在する場合には有効根入長について考慮を払うべきである。但この場合その工事過程に於て在来地盤がどの様な変化をするのかも考慮に入れるべきである。

基礎が深い程安全である事は論をまたないが、施工に当つては今迄とかく軽視されがちであつた埋戻しについても充分の考慮を払うべきである。これは単に地震時のみでなく常時に於ても云える事である。

以 上