

# 6 ピヤの載荷試験報告

## —その1 ベノート杭の破壊例—

高橋賢之助

### §1. ま え が き

この報文は東京都中央区の某現場において、載荷試験実施中 530ton の載荷で杭体が安全に破壊したBENOTO 杭について、その破壊状況を調査し、それに考察を加え破壊原因を明らかにし、今後 BENOTO 杭並びにこれと類似する諸種の現場打ちコンクリート杭の施工に当り、必要と考えられる注意事項について述べたものである。

### §2. 調査対象杭

BENOTO EDF 55 型機（ケーシング外径 970mm 内径 890mm）を用い、図-1 に示す地層において -25m まで掘削し、主筋 25mm 25本、スパイラルフープ 13mm ピッチ 200mm を配筋し、生コンクリートを打設した。この鉄筋にはカールソン型歪計を 8 コ、応用計を 1 コ結束した。（図-1）

コンクリート打設51日後の1959年8月31日より載荷試験（写真-1）を開始したが、9月3日に到り530tonより

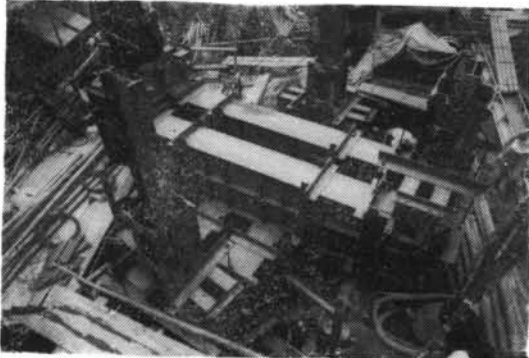


写真-1 載荷試験装置

荷重の増加ができず、4日沈下量が約120mmに達したので1時中止し、9月7日再度載荷したところ、沈下量が約280mmの時、杭頭部が横に移動していることを発見したので載荷試験を止めた。（図-2、表-1）

図-1 に示した歪計 8 コの内、一番上の 2 コを除いた 6 コがコンクリート打設中に断線したらしく測定できなかったが、さいわい一番下に入れた応力計は測定できた

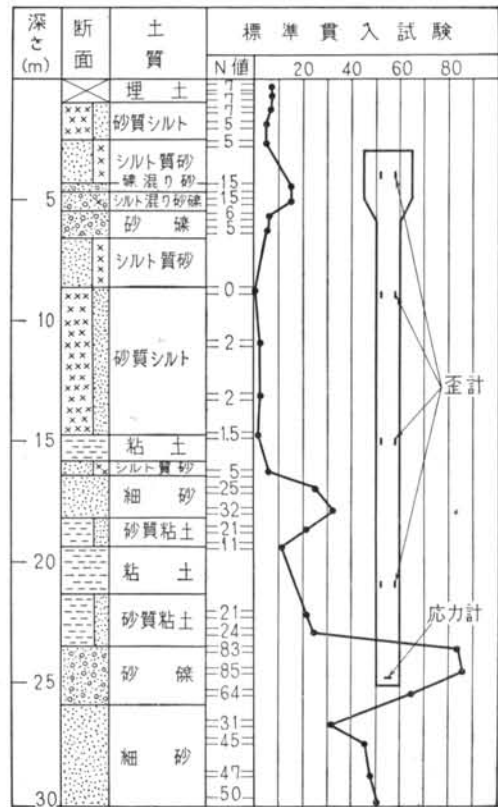


図-1 地盤と杭との関係

その結果では、300tonの載荷で杭下端に荷重が全く伝達されず、500tonの載荷で約14ton/m<sup>2</sup>、杭全断面に対して約11tonが伝達された。東京下部砂礫層がこの程度の荷重で破壊するとは考えられないので、完全に杭体の破壊と判定し、その原因を調査することとした。

### § 3. 破壊部発見までの経過と観察

載荷試験終了後、現場の根切り深さ(-10.7m)まで堀削しつつ観察したが、破壊していなかったため、破壊部の深さを推定するため、スエーデン式サウンディングロッドを用いて、杭の周辺2か所において土の締りの程度を測定した。また1か所においてはハンドオーガーを用いて土質を観察した。

その結果、サウンディングにおいては2か所共-13m付近で極端に締っており、その下が軟かく-16m付近で砂層に達し、貫入できなくなったのでロッドを引抜いたところ、砂層の水が根切り底附近(-10.8m)まで急速に上昇してきた。

またオーガーにおいては約-13mで、コンクリートの

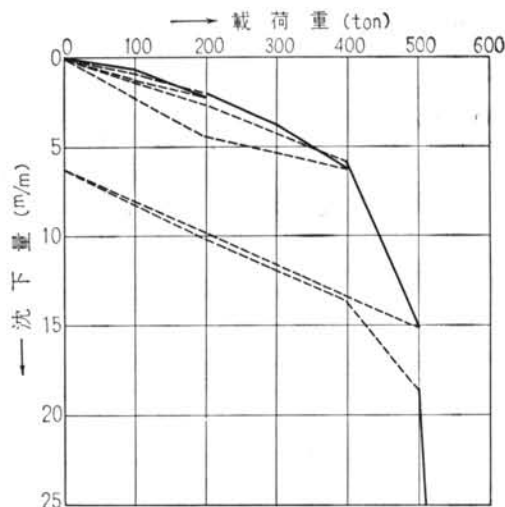


図-2 載荷試験結果

ようなものに当り堀削できなかった。-13m付近はボーリングの結果、大体均質は軟かい沖積シルト層であることから、この付近で破壊しているものと推定し、直径3mの木田式深礎工法により杭周囲を堀削した結果、推定どおり-13m付近で杭が膨れており、堀削が進むにつれ

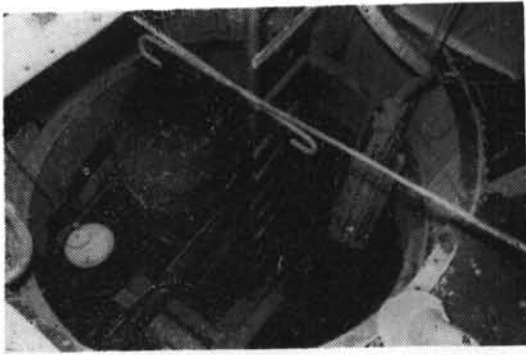
膨れている部分のコンクリートが落下し、鉄筋の挫屈しているのが見えるようになった。(写真-2、写真-3)また鉄筋内部のコンクリートは木片などで簡単に堀り出すことができ、(写真-4)下部は略水平で良質のコンクリートの杭となっており、上部は砂利のよく見える不良質コンクリートであった。

破壊部の主筋はちょうど溶接部になっており、この溶接部で挫屈していた。またスパイラルフープは2か所が溶接部で破断し、他の2か所は伸び率限度を超えて破断しており、その内1か所は約30cm、他は約10cm開いていた。

破壊部より上のコンクリート(長さ約2m)の内、上部約70cmが良質のコンクリートであり、この状態は写真-5でも見ることができる。このコンクリート塊を取り出して3コに切断し、それぞれ、上位置塊・中位置塊・下位置塊と名付けた。

表-1 載荷試験結果

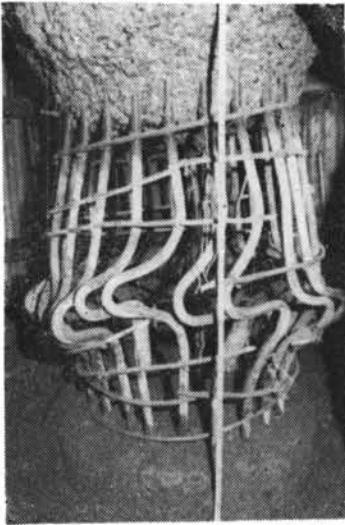
月 日	測定時刻	荷重 ton	沈下量 mm	備 考
8. 31	14.20~15.05	100	0.67~ 0.71	
	15.05~16.20	200	1.97~ 2.18	
	16.20~16.35	100	1.31~ 1.29	
	16.35~16.50	0	0.11~ 0.06	
	16.50~17.25	100	0.93~ 0.95	
	17.25~18.10	200	1.96~ 2.00	
	18.10~20.00	300	3.58~ 3.87	
	20.00~22.00	400	6.12~ 6.31	
	22.00~22.15	200	4.40~ 4.33	
	22.15~	0	0.92~	
9. 1	~ 9.10	0	~ 0.12	
	9.10~10.15	200	2.52~ 2.67	
	10.15~12.15	400	5.30~ 5.77	
	12.15~	500	9.60~	
9. 2	~17.20	500	~15.14	沈下停止せず
	17.20~	0		
9. 3	~ 9.35	0	~ 6.43	約1時間に1回載荷する事とした
	9.35~10.40	200	9.49~10.04	
	10.40~11.45	400	13.18~13.47	
	11.45~12.50	500	15.16~18.55	
	12.50~	600tonの載荷しようとしたが530tonより荷重の増加が出来ず逆に減少し始めた		
9. 4	杭の圧入を行なったが、資材不足のため荷重をおろした。残留歪 111mm			
9. 7	折尺を取り付け再度圧入約 170mm、合計約280mm沈下の時、杭頭部が横に移動(目測約50mm)しているのを発見し圧入を止めた。			



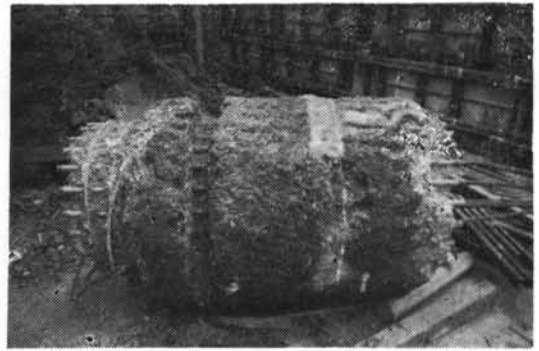
写真一2 深礎工法による堀削調査



写真一3 杭体の破壊状況



写真一4 破壊したコンクリートを取除いた後の状況



↑  
下位置塊      中位置塊      上位置塊  
写真一5 破壊部より上のコンクリート塊



写真一6 砂利表面の洗われたコンクリート



写真一7 砂利表面の良く洗われたコンクリート塊

上位置塊と中位置塊との境界の鉄筋を熔断し、クサビを打ち込んで切断したところ、上位置塊の中位置塊に接した部分のコンクリートは、粗骨材が非常に少なく、ほとんどモルタルだけのように見え、中位置塊の主筋は1

ポンドの片手ハンマで簡単に抜くことができた、また、下位置塊のコンクリートは、砂利が水で洗われたように見えた。(写真一6、写真一7)

§ 4. コンクリートの強度

破壊したBENOTO杭に用いたコンクリートの1m<sup>3</sup>当りの配合は、表-2のとおりである。これから計算により4週圧縮強度を求めると約210kg/cm<sup>2</sup>になり、また杭のコンクリート打設時に採取した供試体の圧縮試験結果は、表-3に示すように良い結果を得ている。これに対してコンクリートの上位置塊の鉄筋内側から2コ、中位置塊の鉄筋内から2コ、外側から1コの供試体を採取して行なった圧縮試験結果を表-4に示すように、上位置塊は強度が十分であり、中位置塊は低強度であった。そして下位置塊は中位置塊より更に低強度で、供試体の採取すら不可能であった。

§ 5. コンクリートの分析結果

表-2から骨材セメント比を求めると、モルタルに対して2.9、コンクリートに対して7.1となる。

分析のため採取した上位置塊のコンクリートを(A)、中位置塊及び下位置塊のコンクリートを(B)、破壊部の鉄筋より内側のこなごなの部分を(C)とし、これらのコン

表-2 使用コンクリート調査表

セメント kg	フライ アッシュ kg	砂 kg	砂利 kg	水 kg	プロテ ックス cc	水セメント比	
						W/C	W/C + F
260	32	754	1092	175	73	67.5	60.0

表-3 打設時に採取したコンクリートの強度

採取月日	ミキサー車 番号	スランプ cm	7日強さ kg/cm <sup>2</sup>	28日強さ kg/cm <sup>2</sup>
7. 11	1	19.0	108	228
	3	19.5	110	235
	5	19.5	116	220
	平均	19.3	111	226

表-4 堀削により採取したコンクリートの強度

採取位置番号		試験日	材令 日	長さ cm	平均直 径 cm	破壊荷 重 ton	補正	圧縮強 度 kg/cm <sup>2</sup>	
上位置塊	鉄筋内	1	2. 16	220	30.0	14.7	47.3	269	
		2	2. 16	220	30.0	14.7	42.1	239	
中位置塊	鉄筋内	1	2. 9	213	15.5	14.7	16.1	0.85	81
		2	2. 9	213	17.4	14.7	27.0	0.94	150
	鉄筋外	1	2. 9	213	27.0	19.5	15.6	0.96	50

クリートを当社研究所の外、日本セメント研究所および建設省建築研究所に分析を依頼した。この結果は表-5に示すように、(B)および(C)は骨材セメント比が非常に大きく、モルタルに対して4.50~8.00、コンクリートに対しては11.73~21.50であった。

§ 6. 調査対象杭と  
トラックミキサー

調査対象杭のコンクリート打設に要した生コンクリートは、トラックミキサー6台分である。このコンクリート量、工場出発時刻、打設開始時刻、練時間等を表-6に示す。

杭の直径を0.97mとすると破壊部を含む不良質コンクリートは4号車によって打設されたことになる。この4号車によって打設された深さは-10.2~-14.2mである。3号車のコンクリートは練時間105分で打設され、4号車の打設は更に106分後であるから、3号車のコンクリート練りが開始されてより、211分後に4号車のコンクリートが打設されているので、3号車のコンクリートは相当凝結が進んでいるものと推定される。故に3号車のコンクリートと4号車のコンクリートとは混合するとは考えられない。しかし4号車のコンクリートと5号車のコンクリートは多少混合する可能性がある。

4号車のコンクリート量は3.0m<sup>3</sup>であり、これを長さに換算すると約4.0mである。

堀削によって確認された不良質コンクリートは、根切り底(-10.7m)から0.7m深く、上端が-11.4mであり、破壊部下端は-14.0mである。しかし載荷試験によって圧入された長さは28cm≒0.3mであるから、試験前の上端が-11.1mにあったことになり、不良質コンクリートの長さは2.9mである。すなわち不良質コンクリートの長さは、計算で求めた4号車のコンクリートの長

表-7 ケーシングの引抜き

番号	長さm	ケーシング下端 深さ m		ケーシング引抜き時刻	
		引抜き前	引抜き後	引抜き開始	引抜き完了
5	2	-25.0	-23.0	11.35	12.15
4	6	-23.0	-17.0	13.05	13.45
3	6	-17.0	-11.0	15.01	15.16
2	6	-11.0	- 5.0	16.06	16.16
1	6	- 5.0	0	16.44	17.05

さより1.1m短かい。

§7. ケーシングの引抜きと土質および地下水

ケーシング1本の長さは6mであり、4本用いると24mとなる。しかし調査対象杭の先端深度が25mであるから、ケーシングを5本用いなければならない。この5本目のケーシングは長さ2mとした。(図-3を参照しながら)ケーシング圧入完了時のケーシング下端(-25m)の土質は東京下部砂礫層である(a)5本目のケーシング(2m)が引き抜かれると下端が約-23mとなり(b)土質は硬質の下部砂質粘土となる。この粘土層は当敷地で-18.1m~-23.4mにあり、不透水層を形成してケーシング引抜き

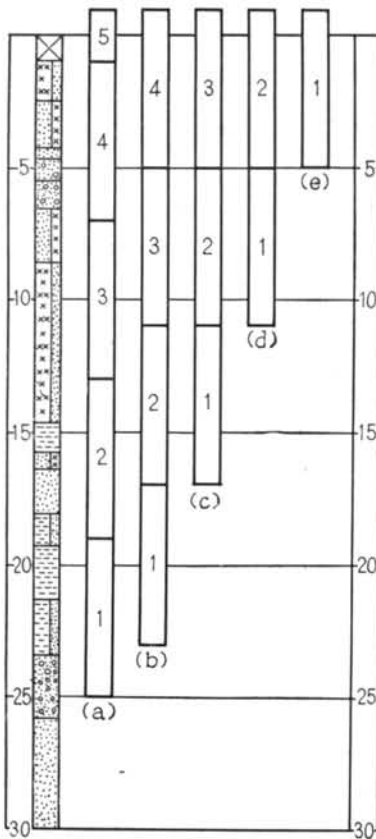


図-3 ケーシングの引抜き

表-5 堀削により採取したコンクリートの分析結果

種 類	Ig. Loss %	CaO %	Insol %	骨材セメント比	
					当社 研究所
不良部分	B	4.47	4.87	87.00	11.75
		4.54	4.88	82.78	11.73
	C	3.08	2.98	86.46	20.55
		2.94	2.93	86.39	20.59

ASTM C 85-54に準じて分析  
CaO はセメント中に65%含むと仮定する

種 類	Ig. Loss %	CaO %	SiO <sub>2</sub> %	Insol %	骨材セメント比
良質部分 A	12.30	13.75	6.17	61.83	3.14
不良部分 B	9.67	8.46	4.08	71.15	5.94

日本セメント研究所

上記はモルタル部分の分析である。なおコンクリートとして調合比を決定するためモルタル部分と砂利部分に分けモルタル部分の分析結果より下表のように決定した。

種 類	モルタル部分	砂利 (5mm以上)	骨材セメント比
良質部分 A	47.1	52.9	8.55
不良部分 B	33.2	66.8	21.50

日本セメント研究所 (東コンより依頼)

種 類	Ig. Loss %	CaO %	Insol %	骨材セメント比	
不良部分	B	14.82	9.95	63.41	4.50
	C	8.40	6.62	75.01	8.00

モルタル部分の分析であり、良質の場合は骨材セメント比が、3~3.5となる。

建設省 建築 研究所

種 類	砂利 %	砂 %	Insol %	セメント %	骨材セメント比	
不良部分	B <sub>1</sub>	69.5	23.0	2.6	4.9	18.87
	B <sub>2</sub>	66.8	26.0	2.1	5.1	18.19

Insol 部分は砂利、砂をコンクリートから除いてHCl処理した不溶残分である。この中には砂利、砂中の粘土分とフライアッシュとが含まれると考えられる。なおセメント中のCaOは66%含むものとして計算した。

表-6 コンクリートの打設

ミキサー車番号	コンクリート量 m <sup>3</sup>	コンクリート打設深さ (直径0.97mとして)m	工場出発時刻	打設開始時刻	練時間 min	打設開始時刻差 min
1	2.5	-25.0~-21.6	9.50	10.25	35	38
2	2.5	-21.6~-18.2	10.30	11.03	33	92
3	3.0	-18.2~-14.2	10.50	12.35	105	106
4	3.0	-14.2~-10.2	13.05	14.21	76	13
5	2.5	-10.2~-6.7	13.40	14.34	54	66
6	2.5	-6.7~-3.3	14.15	15.40	85	

いるため-25m附近の砂礫層には水がない。

4本目のケーシング(6m)が引き抜かれると下端が約-17mとなり(c)東京上部砂層となる。この層は-15.8m~-18.1mにあり一般に水を有する。3本目のケーシングを引き抜くと(d)2本目を引き抜くと(e)のようになり、それぞれ砂質シルト、砂となるが、比較的浅いため水の問題は少ない。ケーシングの引き抜きと時刻との関係は、現場の記録から表-7のとおりである

### § 8. 調査対象杭破壊 についての考察

以上の結果から1号車、2号車、3号車、5号車、6号車のトラックミキサーによって打設されたコンクリートは、良質であると考えて良く、4号車のコンクリートのみ不良質であることから、4号車のコンクリートがミキサーの中にあつた時から既に不良質であつたのではないかと、との疑問が生じるが、これ以外に土質、コンクリート打設、ケーシング引き抜き、地下水などがコンクリート杭にどのような影響を与えるかを考えて見る必要がある。今コンクリートが調査設計どおりであり、しかもコンクリート打設前に堀削底に水がなかったものと仮定すると、

#### (1) 土質の影響

杭全体が一様なコンクリートで打設され、強度が全く等しく、破壊するまで載荷したとすれば、土質が均一であれば長柱挫屈を生じない限り最上部で破壊する。また受動土圧の小さい部分で破壊する。すなわち本敷地においては、-16mより深い部分で破壊するとは考えられない。

#### (2) 各コンクリート打設時刻差の影響

コンクリートは、打ち込み後1~2時間で水と諸成分との分解がおこなわれ、比重の重いものは沈み、軽いものは浮き、表面に浮上水がにじみ出る。東大の実験によると、この現象は約1時間でほとんど終了すると報じている。(図-4)

トラックミキサー1台分のコンクリート打設に要する時間を10分と仮定すると、表-6に示した打設開始時刻差の値(分)から、10分を差引いた値がコンクリート打ち込み後、次のコンクリートが打ち込まれるまでの時間となる。本調査対象杭において、1号車のコンクリート打設後、2号車のコンクリート打設開始までの時間は28

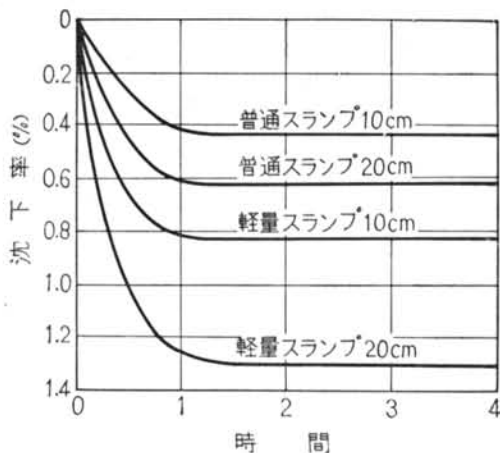


図-4 時間と沈下率との関係

分である。またスラブを20cm(実際は表-3から約19cm)とすると、図-4から沈み率は約0.4%となる。この0.4%を水と考えると2号車のコンクリート打設までに約10リットルの水が浮き上がり、2号車のコンクリートに混入され、水セメント比が大きくなって強度が低下する。

このように考えると4号車のコンクリートの強度が最も低下することになる。水が次のコンクリート打設によって全部に一樣に混入するとは考えられない。同一ミキサーより打設されたコンクリートでも、初めの或る程度には混入されるが、終りに近いコンクリートにはほとんど混入されないと考えて良い。破壊した4号車のコンクリートにおいてこの現象があつたとすれば、先に打設された下部のコンクリートが後に打設された上部のコンクリートより低強度であつて良いはずである。現にこの現象がコンクリートの強度試験結果(表-4)で確認された。

次に浮上水のあるところに14mもの高さからコンクリートを落下させたと考え、最初に投入されたコンクリートのセメント分が水に分散し、砂利の表面が洗われセメント分の少ないコンクリートが打設されるが、次第にこの現象が少なくなると考えられる。この洗われたと考えられるコンクリートが写真-6、写真-7でありまたこのように考えると不良質コンクリートの骨材セメント比が表-5のように大きくなって良い。

浮上水によるコンクリートの強度低下の問題、砂利表面の洗滌の問題、骨材セメント比の問題等は、浮上水でなくても水であれば総てこのような現象が生じると考えて良い。

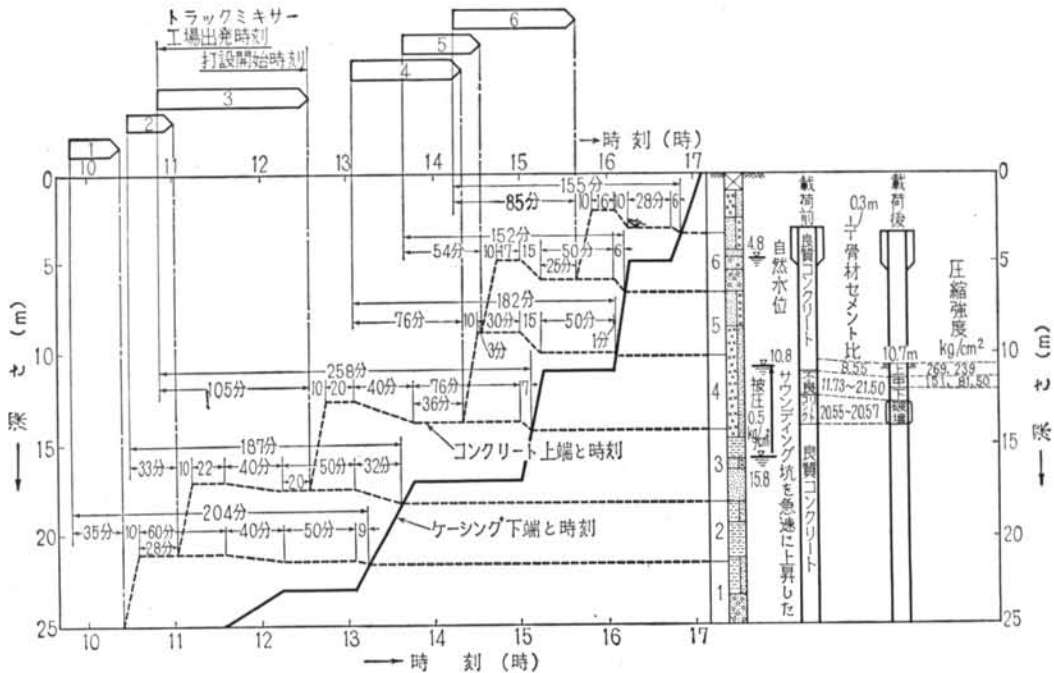


図-5 破壊原因調査総合図

### (3) ケーシングの回転、引き抜きと浮上水

一般に BENOTO は土とケーシング、ケーシングとコンクリートとの附着を防止するためケーシングを回転しているから、ケーシングとコンクリートとの間に多少の間隙ができると考えて良い。

本調査対象杭におけるトラックミキサーの工場出発時刻、コンクリート打設時刻とコンクリート上端深度との関係、ケーシングの引き抜き時刻とケーシング下端深度との関係、土質、地下水、実際の杭等の総ての関係を図-5 に示す。

1号車のコンクリートが工場を出発し、打設され、5本目のケーシング引き抜き開始までの時間が1時間45分、2号車が工場出発してから5本目の引き抜きまでの時間が1時間5分経過しており、浮上水が図-4 からこの2台分のコンクリートより相当量にじみ出ると考える。

しかしケーシングの回転によって、コンクリートとケーシングとの間に間隙ができ、ケーシングが引き抜かれると土とコンクリートの間に更に大きな間隙ができる。この間隙にコンクリートより早く浮上水が浸入すると考えて良い。しかもケーシング引き抜き前のケーシング下端の土質が下部砂礫層であり、湧水が全くない地層であ

るから、この浮上水は簡単吸収されると考えて良い。

3号車のコンクリートミキサーが工場出発してから、4本目のケーシング引き抜き開始までの時間が2時間15分であり、打設開始されてから引き抜き開始までが30分である。この30分および引き抜き途中においても浮上水がにじみ出ると考えられるが、引き抜き中に間隙を埋めるため、浮上水がほとんどなくなるものと考えられる。増して上部砂層に湧水がないとすれば、3号車のコンクリート上端の浮上水は、完全に吸収されると考えて良い。

### (4) ケーシングの引き抜きと地下水の影響

図-5 から次の事項がわかる。

- ㊸ 1号車のミキサーが工場を出発してから、コンクリート打設開始までの時間が35分、2号車が33分、3号車が1時間45分、4号車が1時間16分、5号車が54分、6号車が1時間25分であり、3号車の時間が一番長い。
- ㊹ 1号車のコンクリート打設開始から、2号車のコンクリート打設開始までの時間が38分、2号車から3号車が1時間32分、3号車から4号車が1時間46分、4号車から5号車が13分、5号車から6号車が1時間7分で、3号車から4号車が一番長い。

- ㉔ 1号車, 2号車のコンクリートが打設されてから5本目のケーシングを引き抜き, 3号車の打設後に4本目, 4号車, 5号車の打設後に3本目, 6号車の打設後に2本目, 1本目を引き抜いている。
- ㉕ 5本目のケーシングを引き抜いてから次のコンクリート(3号車)が打設されるまでの時間が20分, 4本目の引き抜き後4号車の打設までが36分, 3本目の引き抜き後6号車の打設まで25分であり, 4号車のコンクリート打設までの時間が一番長い。
- ㉖ 1号車のコンクリート打設によって, ケーシング内のコンクリートが4.0m, 2号車の打設で8.0m, 5本目のケーシングを引き抜いて5.6m, 3号車の打設で10.4m, 4本目を引き抜いて3.2m, 4号車の打設で8.1m, 5号車の打設で12.1m, 3本目が引き抜かれて5.0m, 6号車の打設で9.0m, 2本目を引き抜いて2.0m, 1本目を引き抜いて完了しており, コンクリート打設途中でケーシング内のコンクリートが一番短くなるのが, 4号車のコンクリート打設前である。
- ㉗ ケーシング引き抜き前の下端の土質は下部砂礫層, 5本目の引き抜き後は, 下部粘土層, 4本目は上部砂層, 3本目は沖積砂質シルト層, 2本目は沖積砂礫層である。
- ㉘ 下部砂礫層, 下部粘土層には湧水がないが, 上部砂層には水頭約5mの被圧水があり, 沖積シルト層にはにじみ出る程度の水があり, 沖積砂礫層には被圧水はない。
- ㉙ ケーシング引き抜き前, ケーシングと中のコンクリートとの間に間隙ができたとしても, 水の浸入はない。5本目のケーシングを引き抜いても同様であるが, 4本目の引き抜き後ケーシングの回転によって, 間隙ができるとすれば, この間隙を通して3号車のコンクリートの上に被圧水が浸入することになり, 長時間放置すればコンクリート上端より3mまで上昇し得る。

ケーシングの回転によってコンクリートとケーシングとの間に間隙が出来うことは前に記した, このことと前記㉔~㉙の結果から, 3号車のコンクリートの上に多量の水が浸入したと考えられ, 次に打設した4号車のコンクリートの水セメント比が大きくなり, 強度低下した不良質コンクリートができると考えて良い。

## §9. 調査対象杭破壊 に対する結論

種々の調査, 試験, 記録などから判明した事項の大概を記すると, 次のとおりである。

- ㉚ 破壊した部分のコンクリートは4号車のコンクリートであるが, 4号車のコンクリート量が $3\text{ m}^3$ であるのに対し, 不良質コンクリートの量は約 $2.1\text{ m}^3$ である。
- ㉛ 不良質コンクリートの中でも, 深い位置にあるものほど低強度である。
- ㉜ コンクリートの分析結果, 不良質コンクリートの骨材セメント比が非常に大きい。
- ㉝ 不良質コンクリートの砂利の表面が洗滌されているように見えた。
- ㉞ コンクリートが連続して打設されていない, 特に3号車のコンクリート打設開始後1時間46分経過してから4号車のコンクリートが打設されている。また3号車のコンクリートは打設開始までで1時間45分であるから, 3号車が工場出発してより3時間31分後に4号車のコンクリートが打設された。
- ㉟ 4号車のコンクリート打設直前のケーシング下端深度は $-17.0\text{ m}$ , 3号車のコンクリート上端深度が $-13.8\text{ m}$ であるから, ケーシングの中にはコンクリートが $3.2\text{ m}$ よりなく, この状態で36分間ケーシングを回転している。
- ㊱ 4号車のコンクリートが打設された深さの土質は沖積砂質シルト層であり, 水がにじみ出る程度であるが, ケーシング下端の土質は上部砂層であり, 約 $0.5\text{ kg/cm}$ の水圧がある。

以上判明した事実から考察される事項を挙げると次のとおりである。

### ㉡ 納入コンクリートの調合間違い

4号車のコンクリートのみが不良質であることから, コンクリートの調合の間違いと考えられたが, 不良質コンクリートの量が, 打設されたコンクリートの量より少ないこと, 不良質コンクリートの内でも深い位置にあるものほど低強度であることなどから, 納入されたコンクリートの調合の間違いであると断定することができない。

### ㉢ コンクリートの浮上水による強度低下

コンクリートのスランプが $19\text{ cm}$ であり, しかも



断続的に打設されていることから浮上水が考えられこの浮上水が4号車のコンクリートに混入されたための強度低下が考えられるが、コンクリートの凝結が相当進んでいること、ケーシングとコンクリートとの間に間隙ができると考えられることなどから、浮上水による強度低下の可能性は非常に少ない。

### ◎ 地下水の浸入による強度低下

破壊部附近の土質は砂質シルトで、水はにじみ出る程度であり、しかも4号車のコンクリート打設時には、ケーシングによって遮断されていたのであるから、この水の浸入は考えられないが、ケーシング下端が $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ の水圧をもつ細砂中であり、4号車のコンクリート打設前にはケーシングの中にコンクリートが約3.2mより入っていなかったこと、この3.2mの状態では36分もの長い間、しかもケーシングを回転しながらあったことなどから、上部砂層中の被圧水がケーシング内に浸入したと考えられ、この水によって次に打設したコンクリートの強度低下が考えられる。

以上のように納入コンクリートの調査間違い、コンクリートの浮上水による強度低下、地下水の浸入による強度低下の三つが考えられるが、この調査対象杭の場合には、不良質コンクリートの量などから、前記Cの地下水浸水による強度低下と判断される。

## § 10. Benoto 杭並びにこれに類似する現場打ちコンクリート杭の施工に当り、必要と考えられる注意事項

以上は載荷試験実施中に破壊した BENOTO 杭の破壊原因について調査した例であるが、この杭のように地下水の浸入による外、種々の現象、事情などからコンクリートの強度を低下させると考えられる事柄が比較的多い。

これらの現象、事情を調査することが第一であり、調査が十分であれば、事故発生の有無が予測でき、これに対する施工法も考案されるはずである。

次に調査しなければならないこと、および施工に当って注意しなければならないと考えられる事項をあげる。

### (1) 地盤調査を十分におこなうこと

一般におこなっているボーリング、土質試験はもちろんであるが、その外、特に透水層中の水の状態、すなわ

ち、水圧、湧水の程度、水の流れの有無などを十分に調査しなければならない。

### (2) 交通事情の調査をおこなうこと

最近市街地においては骨材置場などの関係から、生コンクリートを使用している例が非常に多くなっているが交通地獄によってコンクリートの練時間を長くするので完全な杭ができない場合があり得る。このため生コンクリートのプラントから現場に至るまでの距離、交通量の時間的变化、混雑時の迂回路特に生コンクリートがプラントを出発してから現場に到着するまでの所要時間などを調査しなければならない。

### (3) 調査結果を十分検討したうえでコンクリートの種類を決定すること

地盤調査および交通事情などの調査の結果を十分検討したうえで生コンクリートが使用できるのか、現場練でよいのか、また注入コンクリートでなければならないのかを考える。

生コンクリート、現場練りコンクリートの場合には特にコンクリートが練り始められてからは打設され、ケーシングが引き抜かれるまでの時間に注意することが必要である。

### (4) 調査結果を十分検討したうえでコンクリートの打設方法を決定すること

生コンクリートまたは現場練りコンクリートに決定した場合シュートで打設して良いのか、トレーミを用いなければならないのかを検討する。この決定は地下水によって左右されることが多い。

一般にケーシング内に水がなければ水に注意する必要がないように考えがちであるが、途中で地下水が浸入することもありまた、浮上水が悪影響を与えることもあるので、出来得る限りトレーミを使用した方がよい。

### (5) コンクリートの打設及びケーシングの引き抜き計画を建てること

現場打ちコンクリート杭は、コンクリートが打設されケーシングが引き抜かれなければ予定の太さにはならない。

コンクリートは練り始めてから約2時間で凝結が始まる。また4時間で $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度の強度となること、3時間位で振動を与えても強度に影響しないことなどから、コンクリート練りを開始し、打設され、ケーシング

が引き抜かれ、予定の太さになるまでの時間が、2時間30分以内であることが望ましい。

このためには図-5のような図を書き、水圧、湧水なども考慮して、コンクリートの打設、ケーシングの引き抜き時期と先端の深さなどにつき、周到なる計画を建てなければならない。ケーシングの引き抜きが遅れ、コンクリートが予定のだけ投入できず、細い杭ができたため増し杭をした例もある。

#### (6) 地下水の流れを止めること

透水層の水が流れている場合には、この流れを止めなければならない。これを怠るとコンクリート中のセメント分が流され、骨材だけの部分ができることがある。

#### (7) セメント量を多くすること

いろいろ検討してもなお、不測の原因によりコンクリートの強度を低下させることがあるから、セメント量を多くしておくことが望ましい。最近ではセメント量を  $390 \text{ kg/cm}^3$  程度にしている。

#### (8) 施工中図-5 に示したような図が書けるよう記録をとること

施工中トラック・ミキサーの工場出発時刻、現場到着

時刻、コンクリート量、打設開始時刻、終了時刻、ケーシング引き抜き開始時刻、終了時刻、引き抜き長さなどを詳細に記録する。また掘削時には成層状態、水の状態も記録し、必ず全部の杭について図-5のような図を書くこと。この図は施工精度を判定するために必要となりまた現在の機械の改良にも貴重な資料となる。

### § 11. あとがき

この報文は載荷試験実施中に杭体が破壊した BENOTO 杭について、その破壊状況を調査し、考察を加え、その破壊原因が上部砂層中の被圧水が、ケーシング内に浸入したためであることを明らかにし、施工に当たっての注意事項も記してある。これは BENOTO 杭だけに限らず、カルウエルド、HW、ペDESTアルなどについても同様であり、この BENOTO 杭の破壊が、今後 BENOTO 杭を始め、これと類似する諸種の現場打ちコンクリート杭の施工に当り、参考となれば幸甚であり、また便に進んだ施工法が開発されることを望む。