

砂地盤における切ばり荷重の測定結果に関する検討例

黒柳正得
荒川欽司
(千葉営業所)

§ 1. まえがき

切ばり荷重の測定は、根切り工事における一般的な施工管理方法の1つとして広く行なわれている。これはその測定が極めて簡単で、工事中における切ばり部材の安全性の判断ができるばかりでなく、周辺地盤の沈下や山止め壁頭部の水平変位の測定結果などと併わせて検討すれば、山止め架構全体の安全性の判断も可能なためである。また、下段切ばり解体時には、上段切ばりへの荷重の移行状態を正確に把握できる。さらに、それらの測定結果を集積して検討することにより、より合理的な切ばり設計用側圧を求めることや、根切りに伴う挙動を明確にできる。

当社においても、切ばり荷重の測定はほとんどの根切り工事について行なわれており、その工事での施工管理という面ではそれなりの効果を上げている。しかし、その各々の工事で得られた結果が、他の工事における切ばりの設計や根切り工事の施工管理に具体的な形で生かされる例は極めて少ないというのが実情である。

このようなことから本報では今後の切ばりの設計と施工管理のため、切ばり荷重に関して気温の変化や根切り位置との関係、さらに規準による設計値との比較などについて検討した1例を示し、今後の参考に供したい。

なお、この例としては、根切り平面が約34m×24m、深さが10.0mのごく標準的な根切りで、しかも比較的信頼できる測定結果が得られた東京電力船橋営業所新築工事のものとする。

§ 2. 測定敷地位置および地盤概要

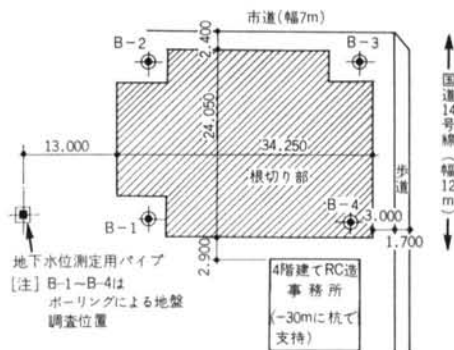
測定を実施した敷地は、図一1に示す船橋港から約400m離れた、沖積層からなる軟弱地盤地帯に位置(船橋市湊町2-2-16)する。また、本敷地周辺の状況は図一2に示すとおりで、根切り部から約2.9m離れた所に

4階建てRC造(地下室はない)の建物が、また約2.4mと4.7m離れた所に市道と国道が走っている。しかし、この建物はいくいでGL-30mの堅固な地層に支持されていること、また道路を通行する車輛の影響についても、仮りに20tの車輛(対象となる後輪荷重は8t)による側圧の増加をブシネスクの式によって計算すると、最大のもので市道側で0.3t/m²、国道側で0.1t/m²程度の値となるが、これも極めて局部的な深度の値であり、特に問題にならないと考えられる。

図一2の4カ所で実施した地盤調査によると、本敷地



図一1 測定敷地位置



図一2 敷地周辺状況および地盤調査位置

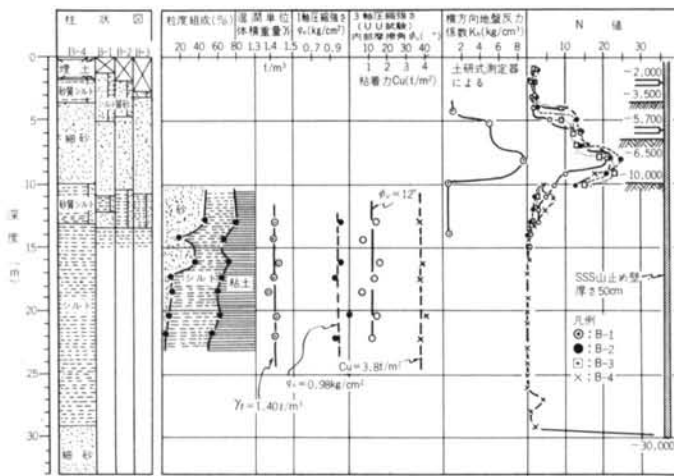


図-3 地盤調査結果

地盤は図-3のとおりであり、おおむねつぎのように大別できる。

- GL-2.0mまで… N値2〜3の埋土層
 - GL-2.0〜4.0m… " 1〜2のシルト質細砂層
 - GL-4.0〜10.5m… " 10〜23の細砂層
 - GL-10.5〜29.0m " 0〜5の砂質シルト層
 - GL-29.0m以深… N値>50の細砂層
- } 沖積層
} 洪積層
- また、根切り底までのGL-10.0mまでの平均的なN値は $N \approx 15$ といえる。

地下水位は、図-2に示す山止め壁の外側で行なった水位観測結果によると、根切り期間を通じてほぼGL-0.8mでほとんど変動がみられなかった。

§ 3. 測定方法および測定位置

測定には図-4に示すような油圧式の切ばり荷重計を用い、これを図-5に示すa、b 2カ所の切ばりに挿入して行なった。この平面的な位置は1、2段切ばりとも同じ位置とした。また、切ばり荷重の気温に関する変化（以下温度応力とする）を調べるため、根切り内の日陰での気温（以下単に気温とする）を、また根切り位置と切ばり荷重との関係を調べるために、根切りの進行状況のスケッチを実施した。

以上の測定のうち、切ばり荷重と気温の測定は、切ばり架橋後から切ばり解体まで（1974年4月〜6月）原則として8時半、10時、12時、15時、17時の1日5回を毎日実施した。スケッチについては根切りを行なった日のみとし、その日の工事終了後実施した。

なお、建物の地下室部の概要と根切り断面は図-6に

示すとおりで、各根切り段階の深さは、1次根切りGL-3.5m、2次根切りGL-6.5m、3次根切りGL-10.0mであった。

また、山止め壁は当社のSSS壁（RC壁）で、その壁厚は50cm、先端深さはGL-14.0mとGL-30.0mのいわゆる“クシ形”となっており、深い部分の幅は2.3m、その中心間隔は5.5mであった。

§ 4. 測定結果および検討

切ばり荷重の測定結果のうち、1日の

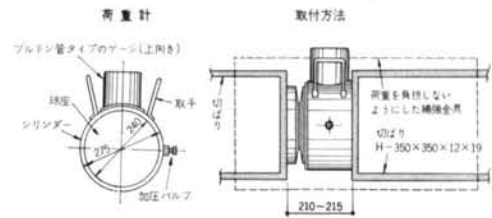


図-4 油圧式切ばり荷重計と取付方法

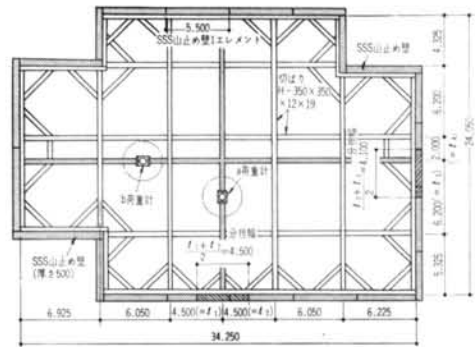


図-5 測定位置

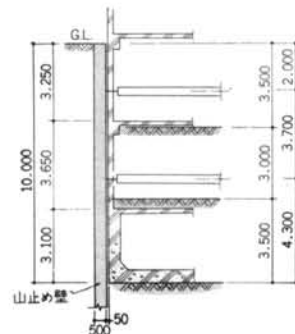
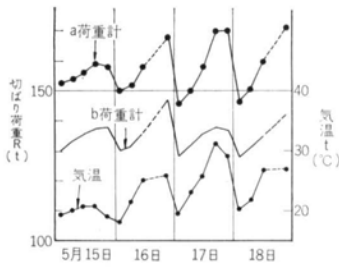
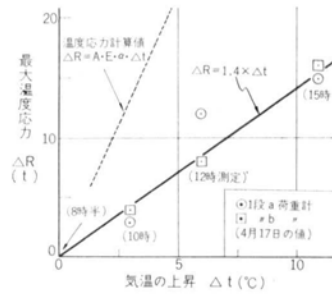


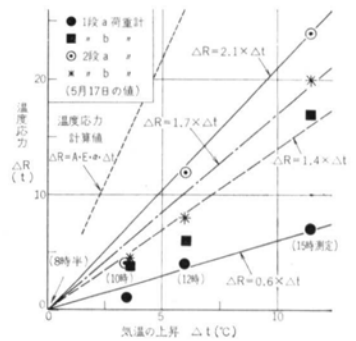
図-6 地下室部概要と根切り断面



図一八 気温と切ばり荷重経時変化 (2段切ばり)



図一九 気温の上昇と切ばりの温度応力の関係 (2次根切り時)



図一十 気温の上昇と切ばりの温度応力の関係 (3次根切り時)

	切ばり名	1段切ばりプレロード後		2段切ばり根切り後		3段切ばり根切り後		2段切ばり解体後	
		4月5日	4月19日	4月21日	5月18日	6月13日			
a 荷重計	1段切ばり	42.0 (9.3)	62.0 (13.8)	42.0 (9.3)	28.0 (6.2)	54.0 (12.0)			
	2段切ばり			48.0 (10.7)	171.0 (38.0)				
	合計			90.0 (20.0)	199.0 (44.2)				
b 荷重計	1段切ばり	45.0 (11.0)	65.0 (15.9)	46.0 (11.2)	56.0 (13.7)	73.0 (17.8)			
	2段切ばり			49.0 (12.0)	147.0 (35.9)				
	合計			95.0 (23.2)	203.0 (49.5)				

単位：上段 t, () 内 t/m
 () 内は水平方向の荷重分担幅 a, b それぞれ 4.5m, 4.1m で割ったもの
 プレロード荷重は 60 t

表一 各根切り段階ごとの最大切ばり荷重

最小値(8時半測定)と最大値(主として15時測定)の経時変化を 図一七 に示す。これによると、各荷重計の値は気温の変化に対応するように1日に10~30 tの幅を持って変化している。また、これが根切り進行時には日変化の幅はそのまま全体が平行移動したように変化している。特に3次根切り時の2段切ばりの値は著しく大きく増加している。しかし、1段切ばりの値は逆にこのとき減少傾向を示している。これらの各根切り段階ごとの最大荷重は表一のとおりである。

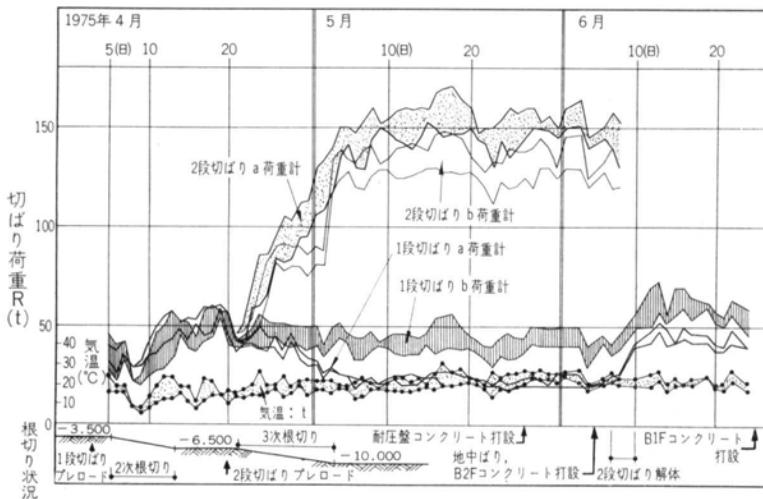
前記のように、図一七の切ばり荷重は気温による温度応力も含んでいるため、このままでは根切りとの関係を論じにくい。また、温度応力は場合によっては切ばりの安全性に対して支配的な要素となることもある。このため以下に気温と切ばりの温度応力の関係を検討する。

4.1 気温と切ばりの温度応力の関係

図一八 は根切りの進行がなく、根切りの進行による荷重増加がないと考えられるときの気温と切ばり荷重の経時変化である。また、図一九、10も図一八と同じ状態のときの1日の気温の上昇 Δt と切ばりの温度応力 ΔR の関係を示している。

これから、気温と切ばりの荷重変化との間には密接な関係があり各測定値に対して、 $\Delta R = (0.6 \sim 2.1) \Delta t$ の範囲のそれぞれの式で表わされる関係があるといえる。

ところで、この気温は前記のように切ばりそのものの温度とは異なり、根切り内の日陰で測定した



図一七 切ばり荷重経時変化 (1日の最小値と最大値)

ものであるが、切ばり荷重の変化との間に上記のようなはっきりとした関係があることは注目されるとともに、切ばり荷重の温度応力を調べるためにはこのような測定で十分なことを示している。実際、切ばりへの日照は上段切ばり、構台、山止め壁などの陰によりかなりむらがあり、また切ばりの裏表でもそうであるため、これらを含めた平均的な温度を測定することは不可能でもある。また、図-9, 10 に切ばりの両端を完全に固定し、しかも切ばりのなじみやたわみがないと仮定した切ばり荷重の温度応力の計算値 ($\Delta R = A \cdot E \cdot \alpha \cdot \Delta t$ で表わされ、 ΔR , A , E , α , Δt はそれぞれ切ばりの温度応力・断面積・弾性係数・線膨張係数・気温の上昇分) を示す。

これによると、測定値は計算値の約40%程度の値となっており、かりに切ばりの平均的な温度が気温とほぼ等しいとすれば、線膨張の一部が山止め壁を山側へ移動させたり、切ばりのなじみやたわみとなって逃げてしまったためと考えられる。

参考のために、山止め壁が山側へ移動することも考慮した遠藤らの提案式¹⁾に、本切ばりにプレロードを加えたときに求められた値を代入して a, b 荷重計の温度応力を計算すると $\Delta R = 2.6 \Delta t$, $2.8 \Delta t$ となり、測定値にややちがづく。

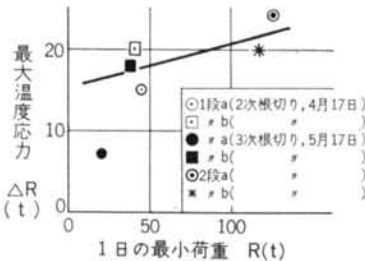


図-11 1日の最小荷重と最大温度応力の関係

つぎに、8時半測定の日1日の最小切ばり荷重と、最大温度応力との関係を求めたのが図-11である。最大温度応力は最小荷重が大きい程大きくなっているが、ほぼ一定値と考えても差しつかえない。

4.2 根切り位置と切ばり荷重の関係

根切りに伴う切ばり荷重の変化を検討するには、測定値から温度応力の値を除去しなくてはならない。8時半の測定値は、根切り期間を通じて最も気温の変化が小さい。これに、4.1で述べた気温と温度応力との関係式によって、かりに18℃の気温を基に修正したのが図-12である。

この経時変化は、図-7に示す最小荷重のそれと比べてはるかに滑らかな形に表わされており、この修正がほぼ妥当なことを示している。

以下に、図-13の根切り進行状況と図-12から、根切り位置と切ばり荷重との関係を検討する。検討は、根切りに伴う荷重変化の大きな3次根切り時の2段切ばりの値について行なう。なお、図-13の日付けは測定

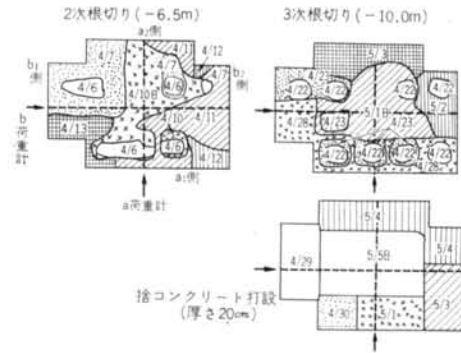


図-13 根切りおよび捨コンクリート打設進行状況 (月、日)

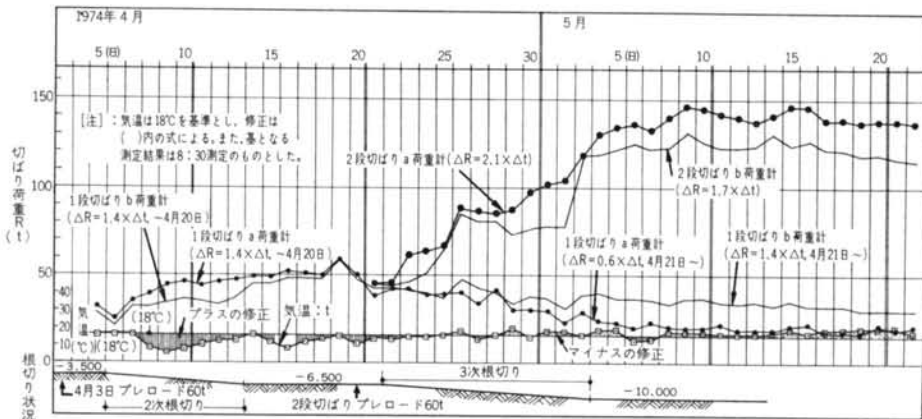


図-12 温度応力に対する修正をした切ばり荷重経時変化

とスケッチの時間の違いから結果的に1日進んだ状態を示している。また根切り位置を示すため、同図に示すように根切り部の4面を a_1, a_2, b_1, b_2 と呼ぶことにする。

i) a 荷重計の値

4月22, 23日に a_1 側を根切りしたことにより漸増した荷重は26日以降定常状態となり、28日に同じ所を整地程度根切りしたことにより、再び増加している。そして5月1日に中央部を根切りしたことにより更に増加し、3日に根切りを終了した後にも約1週間程度増加傾向が続いている。

ii) b 荷重計の値

4月22, 23日に b_1-a_1 側を根切りしたことにより漸増した荷重は、その後ほぼ定常状態となっている。28日には、明らかに影響を及ぼすと考えられる b_1 側の部分を根切りしたのに全く増加していない。そして5月1, 2日に行なった中央部と b_2 側の根切りにより急激に増加している。

以上、根切り位置と荷重との関係には一貫性がなく、その関係を明らかにすることはできない。

切ばり荷重は、基本的には山止め壁をはさんだ根切り内側と外側の側圧の差であり、その増加の傾向は対象とする部分の山止め壁に接した根切り土と、その近傍の根切り土の在り方に左右されると考えられる。今回このような結果が得られた原因としては以下のことが考えられる。

(1) 毎日の根切りの区画がすっきりしていないため、個々の根切りとの関係が付けにくいこと。

(2) 本敷地地盤は根切り底面近傍を境に、砂質地盤から粘性質地盤になっており、根切り深さが少し異なるだけでもその与える影響が異なっていること。

(3) もともと切ばり荷重は、相対する山止め壁に作用する側圧の相互作用によって決まるため、根切り位置との関係が示しにくいこと。

(4) 図-13のように捨コンクリートの打設が根切りと重なっているが、その影響がはっきりしないこと。

しかしいずれにしても、相対する壁面の一方の側を根切りした時よりも、全体を根切りした時の方が大きな荷重となっているといえる。この理由については明らかではないが、従来からいわれている土圧の考え方は異なっており注目される。

4.3 規準の側圧と測定値との比較

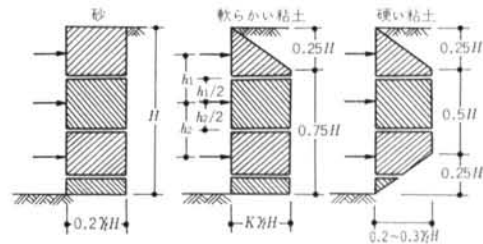
1974年改訂の建築基礎構造設計規準・同解説によると切ばり設計用側圧としては図-14, 15の値を用いることができるとしている。以下にこれと測定値との比較を行



地盤	側圧係数	
砂地盤	地下水位の浅い場合	0.3-0.7
	地下水位の深い場合	0.2-0.4
粘土地盤	軟らかい粘土	0.5-0.8
	硬い粘土	0.2-0.5

K: 側圧係数
 γ : 土の湿潤単位体積重量 (t/m^3)
H: 根切り深さ (m)

図-14 規準の側圧²⁾



γ : 土の湿潤単位体積重量 (t/m^3)
H: 根切り深さ (m)
K: 側圧係数 $1 - \frac{4\sigma_v}{\gamma H}$ (ただし、 $K \geq 0.3$)
一般には $\sigma_v = \frac{\gamma H}{2}$ とする
 σ_v : 土の1軸圧縮強さ (t/m^2)

図-15 規準の側圧 (切ばり、腹起し用)²⁾

なう。“測定値” は次のように決める。

i) 水平方向の荷重分担幅の採り方

水平方向の荷重分担幅は、測定している切ばりの両隣の切ばりまでの距離の $1/2$ とする。したがって、図-5のように a, b 荷重計それぞれ 4.5m, 4.1m となる。

ii) 検討用測定値

検討用測定値としては、早朝の測定値がいわゆる主働土圧状態となっているので好ましいとの考え方がある。しかし通常、設計荷重に別途に切ばりの温度応力を加算することはしないこと、設計荷重の基となる資料も、多かれ少なかれ温度応力を含んでいること、切ばりの安全性は温度応力も含んだもので決まることなどから、検討用測定値は表-1の最大荷重とし、これの分担幅で割ったものとする。

なお、1段切ばりについては、2段切ばりを解体した時の荷重が最大となっているが、これについては根切り時のものと機構的にも異なるためここでは除外するが、その処理方法としては、つぎのような上段切ばりへの移行荷重の計算式を検討してみる方法がある。

1段切ばりと地下2階スラブの天端との間の山止め壁を単純ばりとし、これに2段切ばりの荷重が作用すると

考える。そして、これを解いて求められた1段切ばりの反力と、それまで1段切ばりに作用していた荷重とを加え、これと実際に1段切ばりに生じた荷重を比較する。本例の場合、このようにして求めた値は表一1の解体後の値の約30%増しとなり、これは安全側の値であって、この計算方法がほぼ妥当であることを示している。

また、本切ばりは全部の切ばりに60tのプレロードを加えたが、表一1のようにこの値は一度減少し、しかも根切り後にはプレロードの大きさを上回っている。このため、プレロードによる影響が残留したということはなく、むしろそれによって各切ばりは均等な側圧を受けることになったと考えられる。

iii) 地盤

根切り底までの地盤はN値15程度の中位の砂地盤といえる。このため地盤の分類は“砂地盤”とする。また土の単位体積重量は検討結果の信頼性を高めるためこの地盤としてはやや大きめの値である $\gamma_c=1.90t/m^3$ とする。

4.3.1 3角形分布としたとき

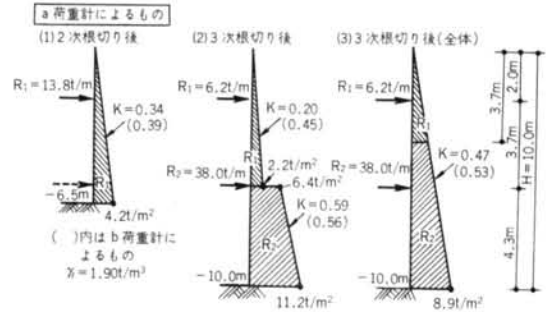
表一1の切ばり荷重から、図一14の標準の3角形分布の側圧を下方分担法によって逆算すると図一16のようになる。これによると、2次根切り後の側圧は側圧係数 K にして a, b 荷重計によるものそれぞれ $K=0.34, 0.39$ となっている。

3次根切り後の側圧は、a 荷重計では1段切ばりは $K=0.20$ 、2段切ばりでは $K=0.59$ と、2段切ばりによる値は1段切ばりによる値の約3.0倍の大きさとなっている。また、b 荷重計によるものは1, 2段切ばりそれぞれ $K=0.45, 0.56$ とほぼ等しい値となっている。

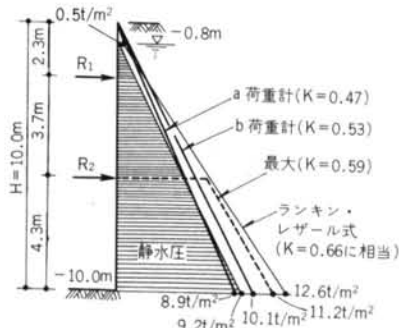
図一16(3)は3次根切り後の両段切ばり荷重の合力から、全体としての側圧係数を求めたものであり、a, b それぞれ $K=0.47, 0.53$ とほぼ同じ大きさになっている。これらは2次根切り後の側圧係数の約1.4倍となっており、通常側圧は根切りの進行に伴い小さくなるという現象からすると、このように増加する現象は注目される。

図一17は切ばり荷重から求めた側圧とGL-0.8mを地下水位とした静水圧およびランキン・レザール式(以下ランキン式とする)による側圧との関係を示している。これによると、水圧と全体としての側圧はほぼ等しく、側圧=水圧ともいえる。

また、この側圧とランキン式によって求めた側圧(土の水中単位体積重量・内部摩擦角・粘着力は順に、 $\gamma' = 0.90t/m^3$, $\phi = \sqrt{20N+15} = \sqrt{20 \times 15 + 15} = 32.5^\circ$, $C = 0t/m^2$ とする)を比較すると、ランキン式による側圧の方がやや大きい。しかし、同式による値と先の切ばり荷



図一16 切ばり荷重から求めた側圧(3角形分布)



図一17 側圧と水圧およびランキン・レザール式による側圧との関係

重から求めた最大の側圧を比較するとほぼ同じ大きさとなっている。なお、ランキン式による側圧を3角形分布の側圧に近似させてその側圧係数を求めると $K=0.66$ となる。

4.3.2 長方形分布としたとき

図一18は切ばり荷重から、図一15の標準の砂地盤用の長方形分布の側圧を逆算したものである。これによると、2次根切り後の側圧は側圧係数 K にして a, b 荷重計によるものそれぞれ $K=0.17, 0.20$ となり、標準式の $K=0.20$ と同じかやや下回っている。

しかし、図一19のように2次根切りで根切りが終了するとして側圧係数を求めた場合は $K=0.26, 0.30$ となり標準式の値を上回る。またこれは、通常の特に水圧が作用していない測定例⁴⁾⁵⁾と比較するとかなり大きめの値といえる。したがって本例の場合、水圧の影響を大きく受けていると考えられる。

3次根切り後の側圧係数は、a, b 荷重計による値とも1段切ばりでは $K=0.09, 0.19$ と小さいが、2段切ばりによるものは $K=0.50, 0.47$ と標準式の約2.4倍の大きさとなっている。

図一18(3)は3次根切り後の両段切ばり荷重の合力から、全体としての側圧係数を求めたものであり、これも

a, b 荷重計によるものそれぞれ $K=0.30, 0.34$ となり、標準式の値の約 1.6 倍となっている。

以上求めた側圧が、標準式の値を大きく上回っている原因としては以下の 2 つが考えられる。

(i) 水圧が大きいこと。

(ii) 最終根切り底面以深が粘性質地盤となっているため、この部分の受働抵抗が小さく、結果的に切ばりの荷重が増加したこと。

そこでこれを検討するため、図-20 のように 3 次根切り後の切ばり荷重から、ここで考えられる最大の水圧として $GL-0.8m$ を地下水位として求めた静水圧を $1/2$ 分割法によって差し引き、いわば“土圧成分”のみとした荷重について長方形分布の側圧係数を求めると、2 段切ばりのものは $K=0.23, 0.21$ となり、なおかつ標準式の値を上回る。このことから、側圧が大きいのは水圧の影響によるだけではなく、最終根切り底面以深が粘性質地盤になっていることにも起因しているといえる。またこのことは、3 角形分布の 3 次根切り後の全体としての側圧係数が、2 次根切り後のそれを上回っていることから裏付けられる。

なお、この時の根切り安定数 N_s は、非排水せん断強さ $S_u=3.8\sim 4.9t/m^2$ とすると $N_s=5.0\sim 3.9$ となり、やや不安定なことを示している。

§ 5. 結論

本測定は、まったくの施工管理のために行なわれたものである。このため、以上検討してきた中で、特に気温と切ばりの温度応力の関係については、切ばり自体の温度がわからないためやや不明確となっている部分がある。しかし、これも実用的には問題ないため、今後の設計、施工の資料とするための検討例として以下に結論を述べる。

＜気温と切ばりの温度応力の関係＞

(1) 根切り内の日陰での気温の上昇 Δt と切ばりの温度応力 ΔR との関係は各測定値に対して $\Delta R=(0.6\sim 2.1)\Delta t$ の関係があった。この値がばらついている理由としては切ばりによって多少その温度が異なることや、切ばりの線膨張の一部が止り壁を山側へ移動させたり、切ばりのなじみやたわみとなって逃げるが、それらの条件がそれぞれの切ばりによって異なるためと考えられる。また、上の関係は気温と切ばりの温度が等しくて、しかも切ばりのなじみやたわみがなく両端が完全に固定されているとして求めた温度応力の約 40% に相当する。なお、

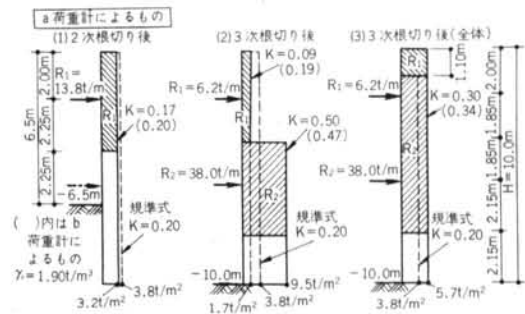


図-18 切ばり荷重から求めた側圧(長方形分布)

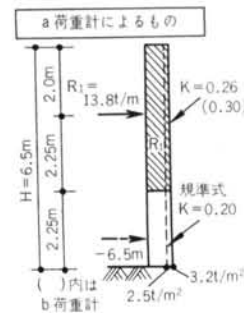


図-19 最終根切り深さを6.5mとした場合の側圧

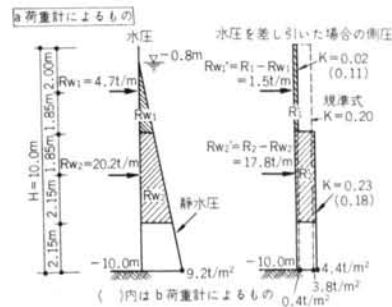


図-20 水圧を差し引いた場合の側圧

この温度応力の大きさは 1 日の最小荷重の大きさにはとくに関係していない。

(2) 以上の関係に基づいて、測定値から温度応力を差し引くと、根切りの進行に伴う切ばり荷重の変化が比較的是っきり求められた。

(3) したがって、気温と切ばりの温度応力の関係を求めるためには、根切り内の日陰での気温を測定すれば良いといえる。

＜根切り位置と切ばり荷重の関係＞

根切り位置と、切ばり荷重の明確な関係は求められなかった。しかし、相対する壁面のいずれか一方の側を根切りした時よりも、全体を根切りした時の方がより大き

な荷重が作用したといえる。この理由は明らかではないが、従来からいわれている土圧の考え方と異なっており注目される。

＜規準の側圧と測定値との比較＞

(1)切ばり荷重の測定結果から3角形分布の側圧を逆算すると、最大のものは3次根切り時の2段切ばりによって生じ、側圧係数にして $K=0.59$ となった。

(2)この値は、ランキン式によって求めた値とほぼ等しい。

(3)また、全体としての側圧は $GL-0.8m$ を地下水位とした静水圧とほぼ等しくなっており、側圧=水圧ともいえる。

(4)切ばり荷重の測定結果から長方形分布の側圧を逆算すると、最大のものは3次根切り時の2段切ばりによって生じ、規準式の約2.4倍の値となった。

(5)全体としての側圧も、規準式の約1.6倍となった。

(6)また、切ばり荷重から考えられる最大の水圧を差し引いた、いわば“土圧成分”のみの荷重から、長方形分布の側圧を求めたものも規準式をやや上回った。

以上から、規準の解説でも触れているが、砂地盤で地下水位が浅く、かつ、地下水量が多いとき、水密な山止め壁を用いる場合の切ばり設計用側圧は、規準の長方形分布の側圧に別途に水圧を加算するか、ランキン式の値かまたはこれに相当する大きさの3角形分布の側圧を用いるのが適当であろう。

また、根切り底面以深が粘性質地盤となっているとき

は、これを考えた適当な大きさの3角形分布の側圧とするか、または長方形分布の側圧とする場合は、最下段切ばりに根切り底面までの側圧を負担させるなどの割増しが必要であろう。

ただ、本山止めは2段切ばりであり、山止めとしては比較的不安定ともいえる状態のため、多少大きめな結果を与えている可能性もあり、この点に留意する必要がある。

§ 6. あとがき

以上、単なる切ばり荷重の測定結果からも切ばり荷重に関して気温の変化や根切り位置との関係、規準の側圧との比較などについての貴重な資料が得られた。とくに規準との比較については多少特殊な例ではあるが、切ばり設計用側圧についての2つの提案もなされた。

各種の水密で剛性の大きなRC山止め壁が多用されてきた今日、それに作用する側圧や切ばりの温度応力も従来のものとは異なることが考えられる。また、根切り位置と切ばりの荷重変化が関係付けられれば、大きな荷重が予想される場合など、根切り位置をも考慮した設計も不可能ではないと考えられる。そのためにも、今後より多くの測定結果の集積と検討を行なう必要がある。

最後に、本報作成に当って便宜を計ってくださった東京電力(株)千葉支店の玉川孝男氏に謝意を表します。

＜参考文献＞

- 1) 遠藤・川崎：“山止め切梁に生ずる温度応力について”日本建築学会論文報告集 1963.10
- 2) 日本建築学会：“建築基礎構造設計規準・同解説” 1974.11
- 3) 玉川・黒柳・荒川：“砂地盤における切ばり荷重の測定結果と検討”第10回土質工学研究発表会 1975
- 4) 田中・多喜・浜塚：“実測切梁反力から推定した側圧係数について”日本建築学会大会学術講演梗概集 1974.10
- 5) 古藤田・青木・丸山：“切ばり荷重実測値と Terzaghi-Peck 修正式との比較”日本建築学会大会学術講演梗概集 1974.10
- 6) 金谷・宮崎：“静水圧分布を示さない地盤における土圧に関する研究(第2報)”第7回土質工学研究発表会 1972