

図-3 想定すべり面での力のつり合い

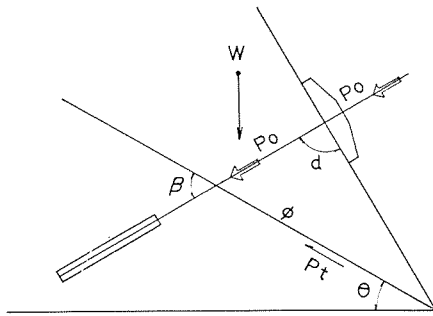


図-4 アンカーの抑止力

を式(1)で表わせば、斜面内の想定すべり面上の土塊のすべり力、抵抗力、安全率は、それぞれ式(2)、(3)、(4)、のように表わすことができる(図-3)。

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (1)$$

$$w_t = w \sin \theta \dots\dots\dots (2)$$

$$F = c \cdot l + w \cos \theta \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (3)$$

$$F_s = \frac{F}{w_t} = \frac{c \cdot l + w \cos \theta \cdot \tan \phi}{w \sin \theta} \dots\dots\dots (4)$$

- ここに、
 τ : 土のせん断強さ
 c : 土の粘着力
 σ : 圧縮応力度
 ϕ : 土の内部摩擦角
 w : 想定すべり面上の土塊重量
 F : すべりに対する抵抗力
 l : すべり面の長さ
 F_s : すべりに対する安全率

式(4)で求められる安全率 F_s が1未満の場合には、想定すべり面上の土塊はすべり落ちることになる。次にアンカー力が作用した場合の想定すべり面については、式(5)で表わされる抵抗力の増加が期待できる(図-4)。

$$P_r = P_0 \cos \beta + P_0 \sin \beta \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (5)$$

式中第1項は想定すべり面に平行な力で上部の土塊に対して直接引き止めようとする力と理解されるため「引止め効果」と呼ばれており、第2項は想定すべり面の応力状態を改善するものであり、構造物を介して土を支圧する結果生じるものとして「支圧効果」と呼ばれている。言葉をかえれば、第1項の作用は物体を吊り下げ(上

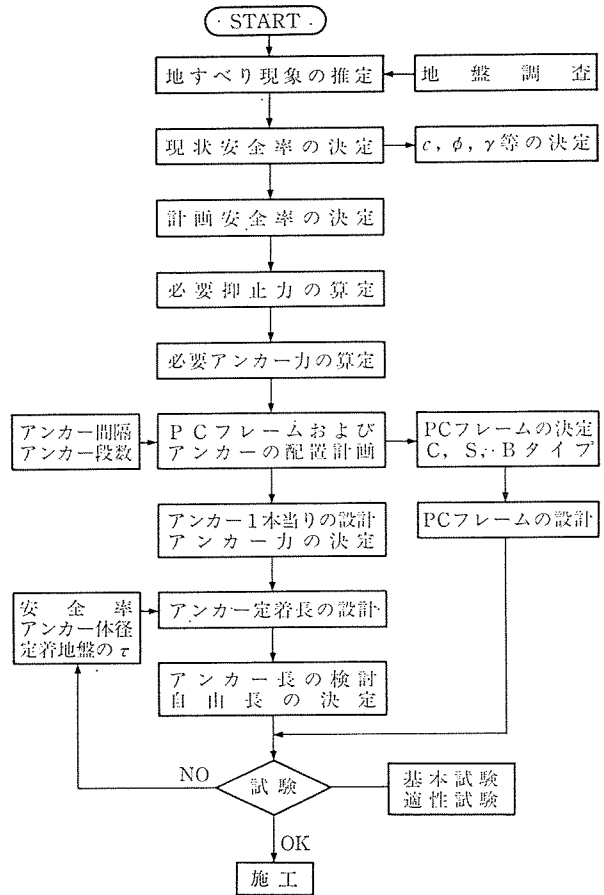


図-5 設計フローチャート

げ) ようとするものであり、第2項は土にプレストレスを与え積極的に土の力学的性質を向上させようとするものである。アンカーによる抑止力を加えたすべり面の安全率は式(6)となる。

$$F_s = \frac{F + P_r}{w_t} \dots\dots\dots (6)$$

所要の安全率を得るための必要抑止力、アンカー張力は、式(5)、(6)より式(7)、(8)となる。

$$P_r = F_s \cdot w_t - F \dots\dots\dots (7)$$

$$P_0 = \frac{P_r}{\cos \beta + \sin \beta \cdot \tan \phi} \dots\dots\dots (8)$$

2.3 アンカー打設方向

アンカーの打設方向と斜面がなす角度については、斜面に平行なアンカー力の分力が、構造物と斜面との間に生ずる摩擦力以上にならない範囲とする必要がある。このことはすべりに関する取扱いと同様の考え方で対処できる。すなわち、斜面に平行な分力、抵抗力、構造物の滑動に対する安全率は、式(9)~(11)で表わせることとなる。

$$P_1 = P_0 \cos \alpha \dots\dots\dots (9)$$

$$P_2 = P_0 \sin \alpha \cdot \tan \phi \dots\dots\dots (10)$$

$$F_s = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_0 \sin \alpha \cdot \tan \phi}{P_0 \cos \alpha} = \tan \alpha \cdot \tan \phi \dots\dots (11)$$

表-1 PC フレーム規格

設計アンカー力 (t)	テンドン本数 $\phi 12.7$	呼 び 名	単位重量 (kg)	呼 び 名	単位重量 (kg)	呼 び 名	単位重量 (kg)
—89.7—	9	C300-55	3 030	C250-55	2 480	C200-55	1 850
—78.5—	8						
—67.3—	7	C300-50B	2 730	C250-50	2 230	C200-50	1,650
—56.1—	6	C300-50A					
—44.8—	5	C300-45	2 400	C250-45	1 950	C200-45	1 480
—33.6—	4	C300-40	2 100	C250-40	1 700	C200-40	1 280
—22.4—	3	C300-35B	1 780	C250-35B	1 450	C200-35	1 100
	2	C300-35A		C250-35A			
		C300	支圧面積 2.429 m ²	C250	支圧面積 1.979 m ²	C200	支圧面積 1.529 m ²

構造物と斜面との滑動に対する安全率を $F_s=3$ 以上、 $\phi=30^\circ$ 程度とすれば、斜面とアンカー打設方向とのなす角は、式 (11) より $\alpha=80^\circ\sim 100^\circ$ の範囲にとどめる必要がある。

2.4 設 計

アンカーの設計要領については専門書にゆずり、ここでは、PC フレームアンカー工法の設計フローチャートを 図-5 に示すにとどめる。

2.5 PC フレームアンカー工法

切り取り斜面が不安定になるということは、切り取りという行為が、それまで切り取られた土塊が斜面に対して与えていた、抑止効果を排除するという行為にほかならないからである。したがってすべりが予想される切り取り斜面では、土塊の果たしていた抑止効果に対する構造物の置換えをより小規模に、より短期間に行うことが安全で確実な工事につながる。PC フレームアンカー工法は、プレキャスト製品を頭部構造体として使用することにより、以上のことを解決したものである。以下に PC フレームアンカー工法の特徴を列記する。

- ① PC フレームは工場で作成されるプレストレストコンクリート 2 次製品で、品質については十分信頼のできるものである。
- ② PC フレームは、斜面切り取り、アンカー孔掘削に併行して計画的に製作できるためアンカー孔掘削、アンカーの一次グラウト、アンカー頭部の定着と連続して工事が行える。したがって、斜面切り取り後の地山の応力開放期間が短時間ですみ、工期短縮や工事の安全性の向上に役立つ。
- ③ PC フレームは単体で定着されるので、構造が簡単で最大の支圧効果がある。また、地山地質の不均一性による支圧の集中応力や偏圧の可能性がある場合、単体の PC フレームにて支えるため、アンカー本来の効果が最大限に発揮できる。

- ④ 工場製品であるので、均一な形状と滑らかな仕上がりがとなっており、完成後は幾何学的な眺望となり美観的に優れている。

3. PC フレーム

3.1 規 格

PC フレームは 図-1 で示されるところの構造物（頭部構造体）であり、アンカー力を直接荷重として受けるものである。PC フレームはアンカーピッチ、アンカー力に対して規格を設定している。規格の一例を 表-1、図-6 に示す。

3.2 PC フレームの設計

PC フレームはアンカー力の 2 つのケースについて十分安全なように設計を行っている。

(1) 設計アンカー力に対して

曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度が引張応力にならないような設計を行う。

(2) 確認試験時アンカー力に対して

設計アンカー力の 1.2 倍、またはアンカーテンドンの $0.9P_y$ の荷重に対して、曲げモーメントおよび軸方向力によるコンクリートの応力度がコンクリートの設計引張強度をこえないような設計を行う。表-2 に使用材料の設計用値を示す。

3.3 力学特性

PC フレームの力学的特性について、曲げ試験結果と併せて考察してみる。

3.3.1 曲 げ 試 験

(1) 供 試 体

図-6 に例示した PC フレームを供試体とした。供試体の材料試験結果は 表-3 のとおりである。

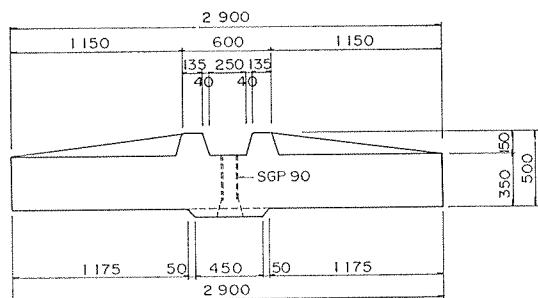
(2) 載 荷 方 法

実験方法としては、アンカー頭部構造体としての PC フレームは本来分布反力を受ける部材であるが、曲げ特

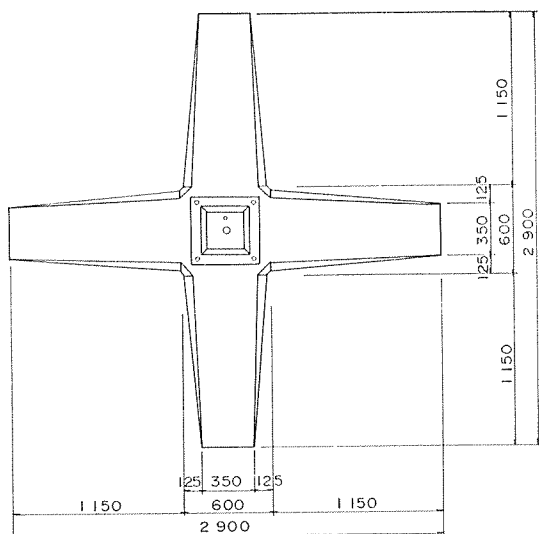
C300-50A 構造配筋図
(設計張力 P=63.0ton)

構造一般図

断面図

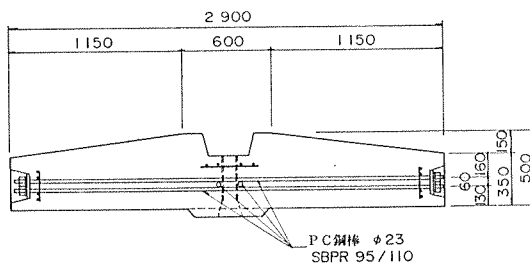


平面図

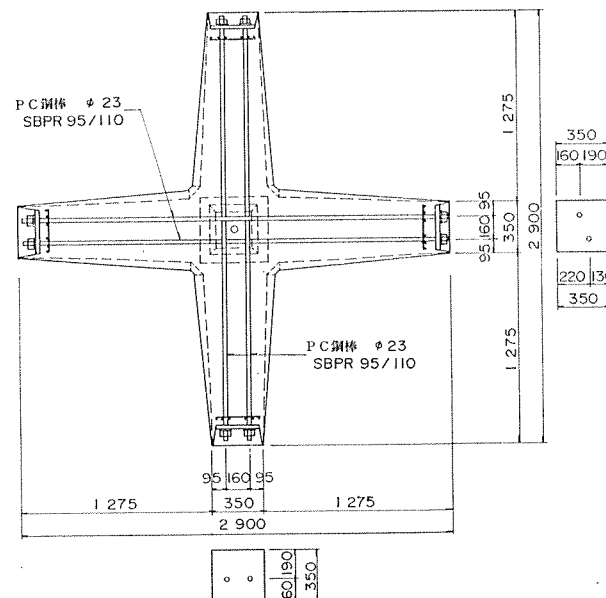


PC鋼棒(アンボンド)配置図

断面図

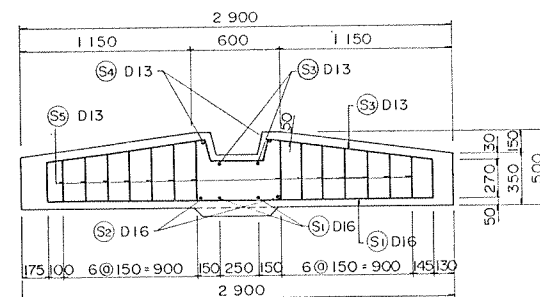


平面図



配筋図

断面図



平面図

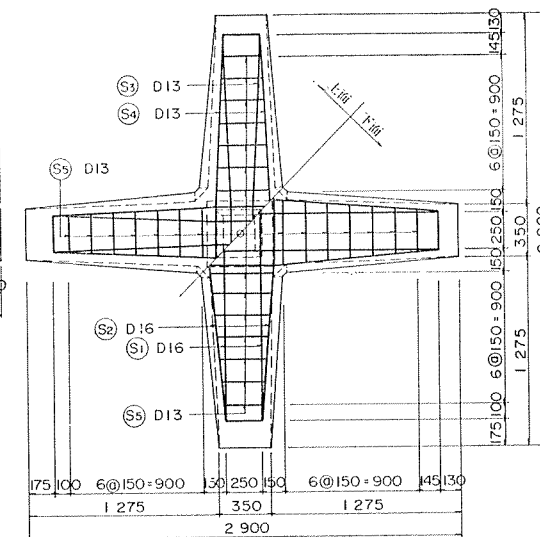


図-6 PCフレーム構造,配筋図

表—2 使用材料の設計用値

a. コンクリート	
設計基準強度	$f'_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$
圧縮強度	$f'_{cd}=400 \text{ kgf/cm}^2$
引張強度	$f_{td}=27 \text{ kgf/cm}^2$
曲げ強度	$f_{bd}=48 \text{ kgf/cm}^2$
圧縮応力度の限界値	$0.4 f'_{ck}=160 \text{ kgf/cm}^2$
引張応力度の限界値	
試験緊張時	$f_{tda}=-27.0 \text{ kgf/cm}^2$
設計荷重時	$f_{tda}=-0.0 \text{ kgf/cm}^2$
斜め引張応力度の限界値	$0.35 f_{td}=-9.5 \text{ kgf/cm}^2$
その他の設計用値	
ヤング係数	$E_c=3.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
クリープ係数	$\psi=2.6$
乾燥、収縮ひずみ	$\epsilon_{cs}=20 \times 10^{-5} \text{ kgf/cm}^2$
b. PC鋼棒 SBPR 95/110	
引張強度	$f_{puk}=110 \text{ kgf/mm}^2$
降伏点強度	$f_{pyk}=95 \text{ kgf/mm}^2$
許容引張応力度	
導入直後	$0.7 f_{puk}=77 \text{ kgf/mm}^2$
設計荷重時	$0.7 f_{pyk}=66 \text{ kgf/mm}^2$
ヤング係数	$E_p=2.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
c. 鉄筋 SD 30	
降伏点強度	$f_{pyk}=3000 \text{ kgf/cm}^2$

表—3 材料試験結果一覧表 (材令 11 日)

	圧縮強度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (kg/cm ²)	ポアソン比
1	460	310 000	0.216
2	462	300 000	0.212
3	472	300 000	0.209
平均	465	300 000	0.212

性、破壊特性を把握する目的で、図—7 に示すような4点支持、中央荷重の方法とした。載荷サイクルは、次のとおりである。

- 第1サイクル 0 t → 60 t → 0 t
 @5 t @10 t
- 第2サイクル 0 t → 60 t → 0 t
 @5 t @10 t
- 第3サイクル 0 t → 60 t → 0 t
 @5 t @10 t
- 第4サイクル 0 t → 60 t → 0 t
- 第5サイクル 0 t → 60 t → 0 t
- 第6サイクル 0 t → 60 t → 破壊
 @5 t

(3) 試験結果

供試体の設計値と試験結果を表—4 に示す。ここで供試体の設計値とは反力を等分布反力とした場合の値である。

3.3.2 力学的特性

(1) 曲げひび割れ

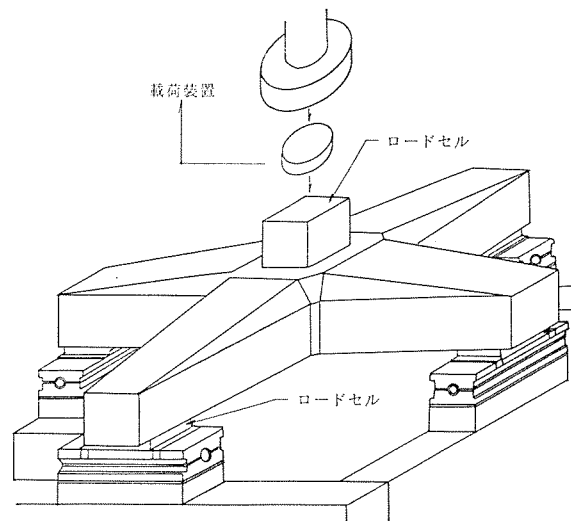
曲げひび割れ発生モーメントの計算値は式 (12) による。

$$M_c = z \cdot (\sigma_{ce} + \sigma_c) \dots\dots\dots (12)$$

試験の結果、計算値と試験値はよく一致しており、表

表—4 試験結果一覧

		設計値-荷重 モーメント	実験値-荷重 モーメント	実験値 計算値
設計値	常時	モーメント (tf·m)	8.0	—
	試験時		10.2	—
曲げひび割れ 発生	荷重 (tf)	60.0	61.5	1.03
	モーメント (tf·m)	14.9	15.2	1.02
破壊	曲げ 押抜き	荷重 (tf)	119.9	0.90
		モーメント (tf·m)		1.13
	曲げ 押抜き	モーメント (tf·m)	28.5	0.89
		荷重 (tf)		1.10



図—7 載荷要領

—1 の部材設計用値を裏付ける結果を得た。なお参考として設計断面下縁の荷重-ひずみ曲線を 図—8 に示す。

(2) 破壊

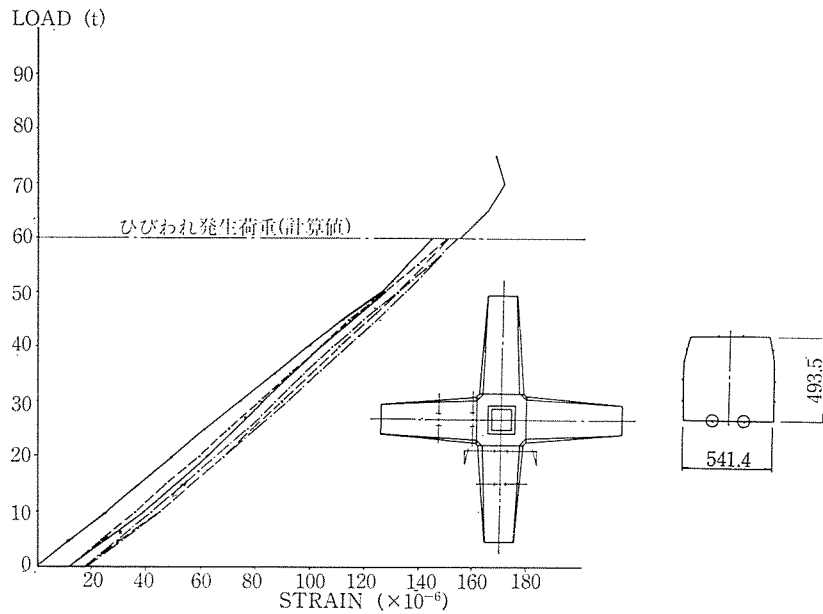
ひび割れの進展状況を 図—9 に、破壊時のひび割れ状況を 図—10、写真—1 に示す。

ひび割れの進展状況と破壊への移行は、以下のように理解される。

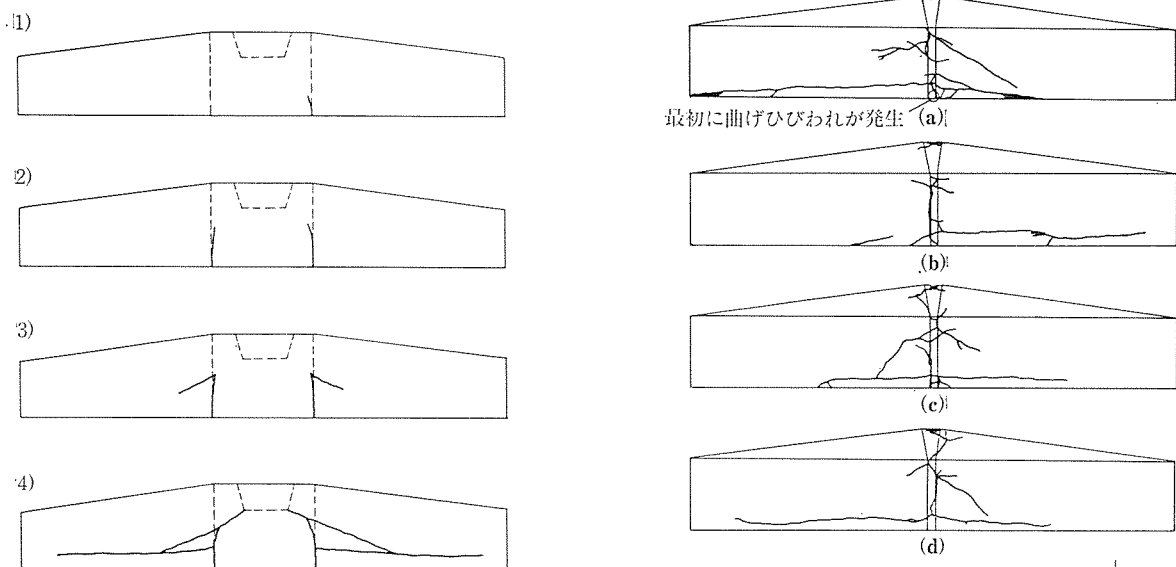
- ① 曲げひび割れの発生
- ② 曲げひび割れの進展
- ③ 押抜きせん断へ移行
- ④ 押抜きのコアが下端筋を押し下げて破壊

曲げ破壊の計算値は引張鋼材 (PC 鋼棒、最下縁鉄筋、D 16-4 本) と圧縮縁コンクリートの力のつり合いにより求めたものである。破壊時のコンクリートの圧縮応力度は約 $290 \text{ kg} \cdot \text{f/cm}^2$ であり、実験値/計算値=0.9 と併せて、破壊は曲げ破壊ではなく観察の結果である押抜きせん断破壊であると判断された。

押抜きせん断破壊の計算は、表—5 に示す計算によった。実験値/計算値=1.13 の結果は、当部材設計としては押抜きせん断耐力をやや控え目に評価した結果となっ

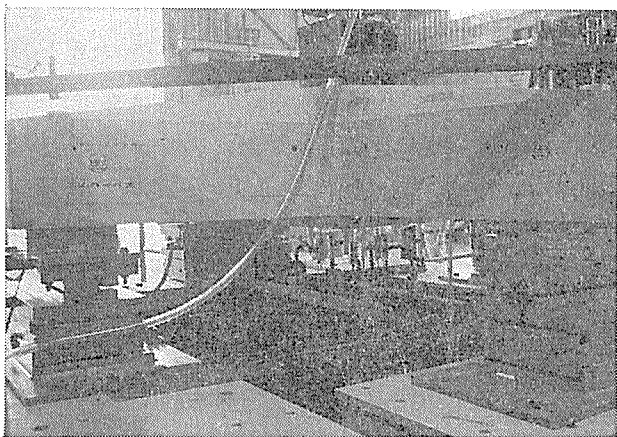


図—8 荷重-コンクリート下縁ひずみ曲線



図—9 ひび割れ進展状況

図—10 破壊時ひび割れ状況



写真—1 破壊時ひび割れ状況

たが、押抜きせん断耐力の評価については未知の部分が多いことより、今後各規格のデータの収集を待って評価する必要がある。

3.4 頭部構造体としての PC フレーム

アンカー頭部構造体としての PC フレームは当然のこととして、アンカー工とのバランスが要求される。アンカーの破壊形態は、アンカーの引抜け、PC 鋼材の破断、頭部構造体の破壊が考えられる。ここではアンカーの PC 鋼材との関係で両者のバランスについて考察する。

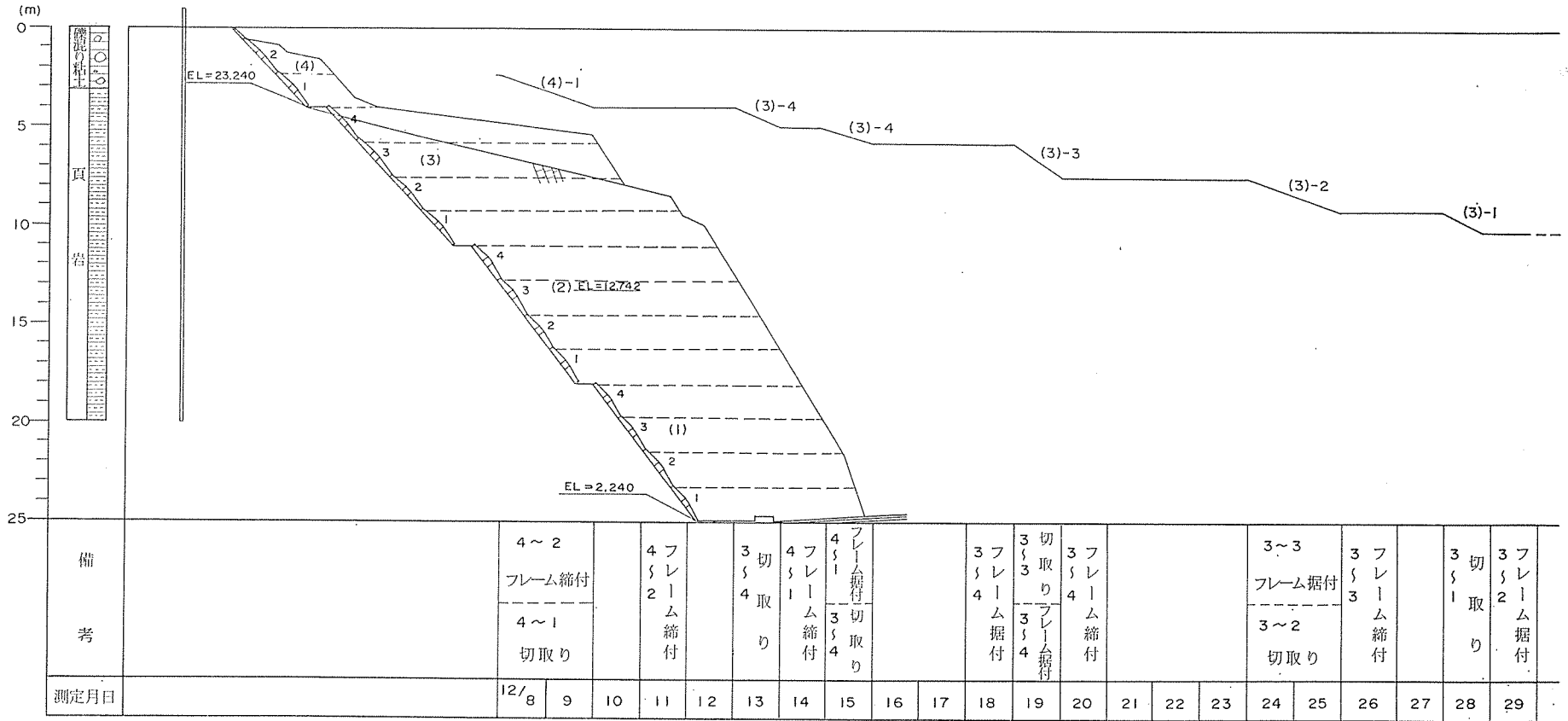
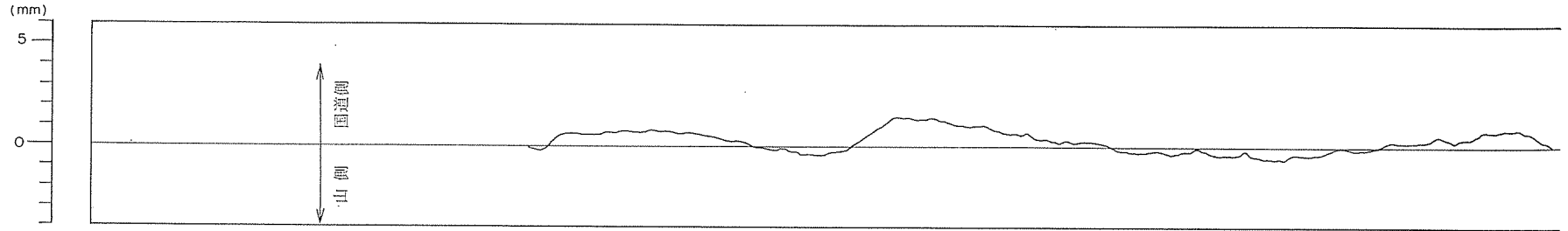


図-11 伸縮計観測結果

表—5 押抜きせん断耐力の計算

設計押抜きせん断耐力は次式にて求める。

$$V_{pcd} = f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / r_b$$

ここに $f_{pcd} = 0.6 \cdot \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_r \cdot \sqrt{F'_{cd}}$

$$\beta_d = \sqrt[4]{100/d} \quad d: \text{部材の有効高}$$

ただし $\beta_d > 1.5$ となる場合には $\beta_d = 1.5$ とする

$$\beta_d = \sqrt[4]{100/30} \approx 1.35$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 \cdot p_w} \quad p_w: \text{鉄筋比で次式で求める。}$$

ただし $\beta_p > 1.5$ となる場合には $\beta_p = 1.5$ とする

$$p_w = \frac{A_w}{b_w \cdot d} = \frac{6 \times 1.986}{55 \times 30} \approx 0.0072$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 \times 0.0072} \approx 0.90$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25 u / d)$$

u : 載荷面の周長でアンカープレートの一辺 $B = 19 \text{ cm}$ とすれば $u = 4 \times 19 = 76 \text{ cm}$

u_p : 計算断面の周長で、載荷面から $d/2$ 離れた位置にて算定するものとする。

$$u_p = 4(B + d) = 4 \cdot (19 + 30) = 196 \text{ cm}$$

$$\beta_r = 1 + 1 / (1 + 0.25 \times 76 / 30) \approx 1.61$$

以上より、 $f_{pcd} = 0.6 \times 1.35 \times 0.90 \times 1.61 \times \sqrt{400} \approx 23.5 \text{ kgf/cm}^2$ 、
設計押抜きせん断耐力は

$$V_{pcd} = 23.5 \times 196 \times 30 / 1.3 \approx 106\,292 \text{ kgf} \approx 106.3 \text{ tf}$$

(1) 曲げモーメントに対して

ひび割れ発生モーメントは部材設計値に対して、設計荷重時で 1.9 倍、確認試験時で約 1.5 倍の値となっている。試験体は常時で 67.3 t、確認試験時で 85.9 t (0.9 P_y) のアンカー力を想定して設計されたものであり、曲げ耐力は十分に安全なものであると判断できる。PC 鋼線破断時を想定した場合の曲げ破壊計算値との比は 1.19 倍であり、やや余裕を残したものとなっている。

(2) 押抜きせん断に対して

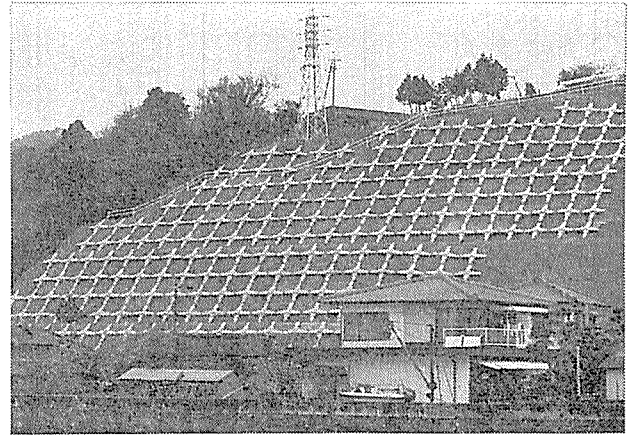
押抜きせん断耐力の実験値と想定アンカー力との比は、常時 1.77 倍、確認試験時 1.38 倍、PC 鋼線破断時で 1.06 倍となる。アンカー力による反力は一般に構造体に対して中心部で大きく、周辺部で減少する分布反力となることが予想されるから、実際の押抜き力に対する上記比率はやや大きくなるが、破壊時に着目した場合には、バランスの取れた部材であると結論できる。

(3) 総合判断

アンカー工は地盤、アンカー材、頭部構造体で構成される複合構造物である。また斜面のすべり崩壊には予知できない要素を含む場合が多く、設計荷重以上の力が作用することも考えられる。このような構造物にあっては設計荷重は一応の目安とならざるを得ず、当該構造物の破壊耐力は重要な意味を持つものとなる。以上の視点から見れば、試験体は比較的バランスの取れた構造体であると結論できる。

4. 実施例

写真—2 に PC フレームアンカー工法の実施例を示す。当工事では、法面頂部に送電鉄塔があるため、安定



写真—2 PC フレームアンカー実施例
(熊本県、本渡土木事務所管内)

勾配での切土が不可能であり、工事中の安全を期するために、PC フレームによる逆打ち工法が採用されたものである。工事は PC フレームのピッチ (2.5 m) を 1 工程の切取り量とする工法で、法面の変状に十分注意しながら工事を行ったものである。切取り、アンカー締付けとそれに対応する地山変状の記録の一部を 図—11 に示す。

観測の結果は、1 工程の切取りごとに国道側への変動を記録しているが、切取り高が小さいことより地山の安定に影響を及ぼすほどに大きなものとはならなかった。アンカー締付けに対応する挙動は、当然のことながら切取りと逆の挙動を示しており、不安定法面の切取り、アンカー施工は、逆打ち工法とし極力部分施工とすることが理想であるとの実証を得た。工期的にも、全孔数 291 孔、削孔長約 2 000 m を、80 日程度で完了できたことは十分満足できる結果であった。

5. あとがき

PC 技術者にとってアンカー工法に接する機会はまれである。アンカー工法の理解なしに、PC フレームの特徴を理解することは困難であると思われるので、最初にアンカー工法の概要について記述し、PC フレームの理解の一助とすることとした。橋梁技術を主体として発展した PC 技術は、一方ではプレテン桁をはじめとして、たくさんの工場 (プレキャスト) 製品を社会に供給している。

PC フレームは、プレキャスト製品をアンカー工法の頭部構造体として応用したものであり、その特徴は、土木工事が今後ますます要請されるであろう諸問題 (技能者の減少、安全で清潔な作業環境、設計と工事内容の整合性等) にひとつの方向を示すものであると信じる。

【1989 年 7 月 10 日受付】