

2. P C アンボンドスラブの 基本的性状についての実験的研究

西 山 良 仁

要 旨

当社社宅の新築工事に際しその1階床にP C アンボンド工法を採用、幾つかの実験的研究を行った。本報告は、その中のP C アンボンドスラブの基本的性状に関する調査とその計測結果をまとめたものである。

キーワード

アンボンドスラブ／緊張力／摩擦損失／Ⅲ種P C／導入応力／むくり量／振動特性

目 次

1. はじめに
2. アンボンドスラブの仕様
3. 調査・計測項目
4. 調査・計測方法
5. 調査・計測結果
6. まとめ

2. EXPERIMENTAL STUDY ON THE BASIC NATURE OF UNBONDED POST-TENSIONED SLAB

Yoshihito Nishiyama

Abstract

During construction of a new company-owned residential building for our employees, we adopted unbonded PC method for the floor of the first story. This report summarizes the basic nature of unbonded post-tensioned slab and the findings from our experiments.

1. はじめに

アンボンドスラブとは、場所打ちRCスラブ内にアンボンドPC鋼線を配置し、ポストテンション方式によりプレストレスを導入するもので、構造的には、PC鋼線の放物線配置による上向きの懸垂力により鉛直荷重に抵抗させ、長期荷重によるひび割れ発生や長期たわみの過大化防止を図ろうとするものである。また、床スラブの面積を大きくできるため、小梁を省略することができ、マンション等では住戸内のプランニングの自由度が高まる等の利点がある。

当社社宅の新築に際し、その1階床スラブに上述のアンボンドスラブを試験的に採用し、同スラブの基本的性状について、いくつかの調査・計測を実施したので以下に報告する。

2. アンボンドスラブの仕様

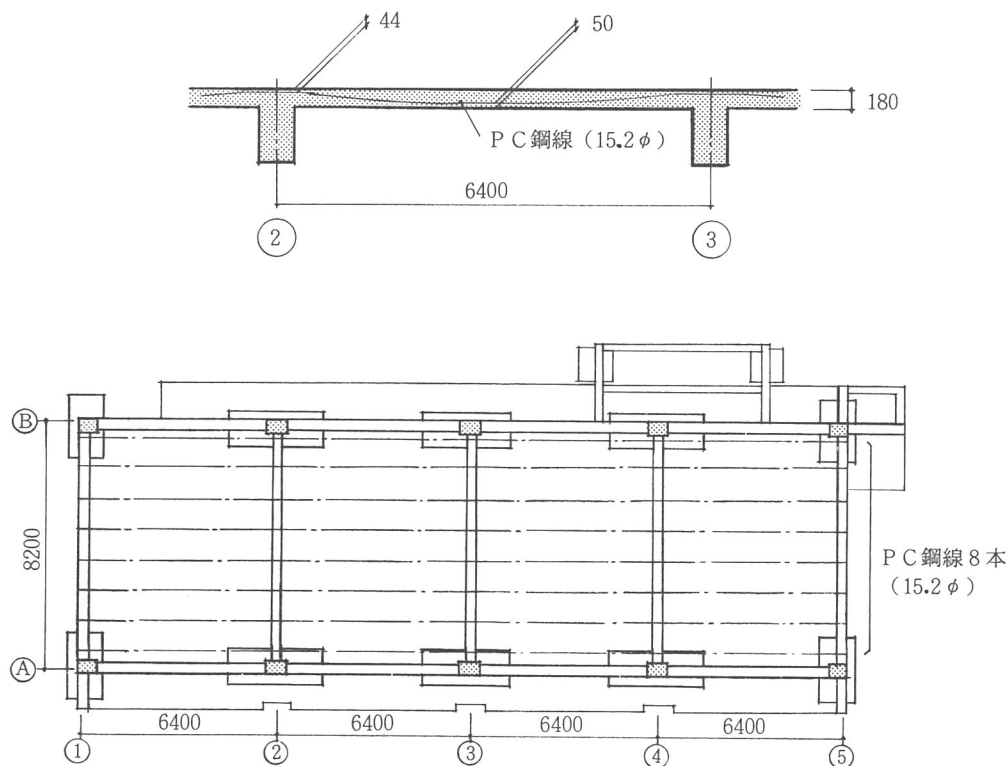
今回のアンボンドスラブは、図－1に示すように、

アンボンド鋼線を1000mm間隔で一方向に放物線配置したものである。使用PC鋼線は、PC鋼より線B種7本より15.2φ(SWPR7B、JISG3536)、使用コンクリートは設計基準強度210kgf/cm²、緊張力(必要導入力P₀)は定着完了時で、18.6tfである。

3. 調査・計測項目

アンボンドスラブの基本的性状を把握するために、以下の項目について調査・計測を行った。

- ① 緊張力(必要導入力P₀)の摩擦損失量
- ② スラブコンクリートに導入される応力
- ③ 緊張時のスラブのむくり量
- ④ 載荷(水はり)試験によるスラブのたわみ量
- ⑤ アンボンドスラブの振動特性
- ⑥ スラブのひび割れ状況(経時変化)



図－1 アンボンドケーブル配置図

4. 調査・計測方法

4.1 緊張力（必要導入力 P_0 ）の摩擦損失量

図-2および図-3に示すように、緊張端と固定端のアンカープレートとグリップとの間にロードセルを装着して各荷重段階でのロードセルの値を読み取った。

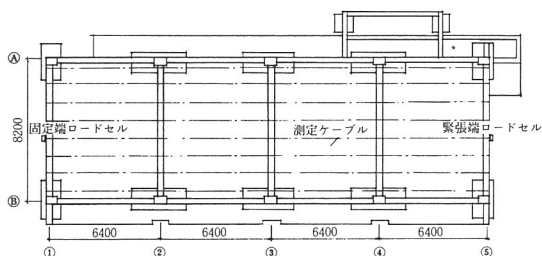


図-2 摩擦損失測定ケーブル位置図

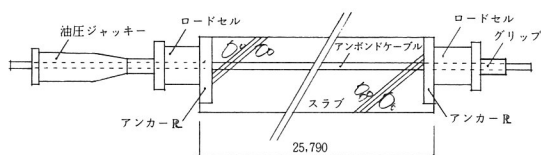


図-3 ロードセル取付詳細図

4.2 スラブコンクリートに導入される応力

図-4に示すように、スラブコンクリートの上面にストレインゲージを張り付けて測定を行った。

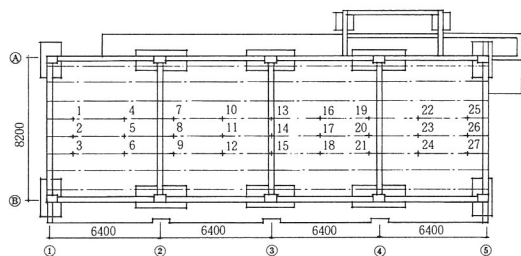


図-4 ストレインゲージ配置図

4.3 緊張時のスラブのむくり量

図-5および図-6に示すようにA～B、2～3通りに、100[□]鋼管の不動梁を設け、マグネットスタンドで測定位置に電気式変位計をセットして計測した。

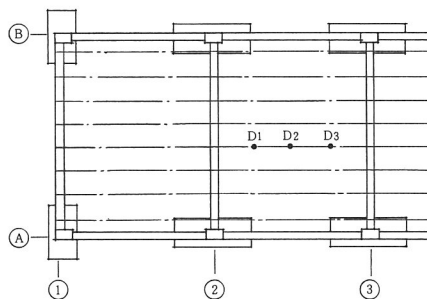


図-5 変位計配置図

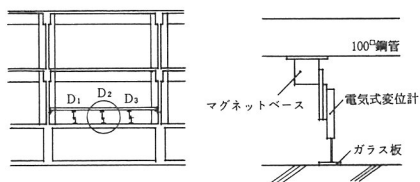


図-6 変位計取付詳細図

4.4 荷重（水はり）試験によるスラブのたわみ量

写真1および写真2のように、床スラブに立上がり（300mmの高さ）に水をはり（300kgf/㎡）計測を行った。初期値は、水はり前の値を0とした。測定位置と測定方法は4.3緊張時のスラブむくり量測定の場合と同じである。

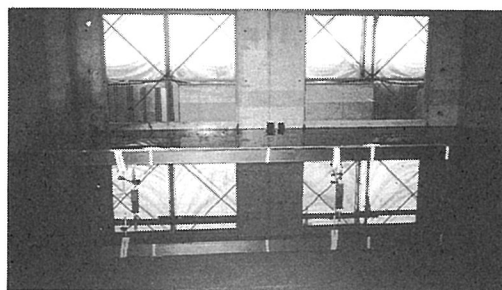


写真-1

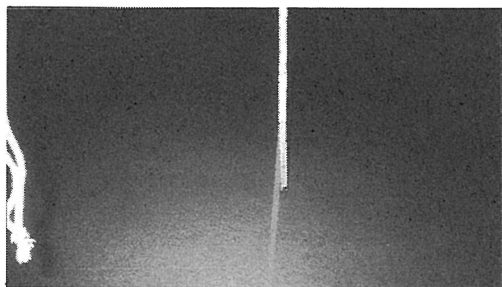
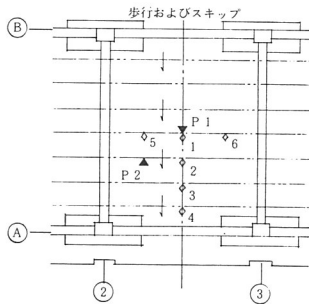


写真-2

4.5 アンボンドスラブの振動特性

図-7 に加振点および検出点の位置を示す。



凡例：

- ▼ 加振点（30kg砂袋・40cm落下）
- ◇ 検出点（船直振動速度）

図-7 加振点および検出点配置図

測定は以下の4 ケースについて行い、スラブの固有振動数、固有モードおよび減衰定数を求めた。

測定ケース

- ① 30kgの砂袋を40cmの高さよりP 1へ自由落下させ測定－5回
- ② 60kgの砂袋を40cmの高さよりP 2へ自由落下させ測定－5回
- ③ 測点1と5の間を歩行して測定－4回
- ④ ケース③と同じ地点をジャンプしながら測定－3回

* 測点6カ所は同時測定とした。

4.6 スラブのひびわれ状況

PC鋼線を緊張し、スラブの支保工を撤去したあと、定期的（1回／月）にスラブ下面のひび割れの有無を目視により調べた。

5. 調査・計測結果

調査・計測結果を各項目毎に以下に述べる。

5.1 緊張力（必要導入力Po）の摩擦損失量

下表に各荷重毎の経過リストを示す。LOAD 1は緊張端の、LOAD 2は固定端のロードセルの値である。

－経過リスト－

LOAD 1 (tf)	LOAD 2 (tf)	LOAD1-2 (tf)	Px/Po	摩擦損失率
0.03	0.00			
-4.75	-4.70	-0.05		
-3.69	-3.62	-0.07		
-3.84	-3.70	-0.14		
-3.97	-3.64	-0.33		
-4.09	-3.64	-0.45	89 %	0.11
-10.07	-9.43	-0.64	94 %	0.064
-15.21	-14.24	-0.97	94 %	0.064
-18.06	-17.16	-0.9	95 %	0.050
0.00	-0.01			

ここに、摩擦損失量Zを以下の略式で表せば、

$$Z = e (\mu \alpha + \lambda x) \div \mu \alpha + \lambda x$$

μ ：アンボンド鋼線（グリース充填）とシース間の摩擦係数

λ ：アンボンド鋼線の角度変化による摩擦係数

e ：アンボンド鋼線のコンクリート断面重心に対する偏心距離

x ：アンボンド鋼線方向のスラブ内法長さ
上式に

$$x = 25.7 \text{ m}$$

$$\alpha = \frac{2 e}{\ell x / 2} \times 4 \times 4$$

$$= \frac{4 \times 8}{605} \times 4 \times 4$$

$$= 0.846 \text{ rad}$$

を代入すると

$$Z = 0.846 \mu + 25.7 \lambda$$

となる。よって、

ケース1 μ を0.06と仮定すると

$$Z = 0.051 + 25.7 \lambda$$

したがって

導入力 (tf)	実測摩擦損失率	λ (1 / m)
04.09	0.110	0.0023
10.07	0.064	0.0005
15.21	0.064	0.0005
18.06	0.050	0.0000

ケース2 μ を0.03と仮定すると

$$Z = 0.025 + 25.7 \lambda$$

したがって

導入力 (tf)	実測摩擦損失率	λ (1 / m)
04.09	0.110	0.0033
10.07	0.064	0.0015
15.21	0.064	0.0015
18.06	0.050	0.0010

以上の値は、いずれの場合も、Ⅲ種PC設計・施工指針に例示されている値よりも小さく、良好な結果となっている。

5.2 スラブコンクリートに導入される応力

図-8および図-9にひずみ分布図とひずみグラフの一部を示す。スラブ中央には引張ひずみ、端部には圧縮ひずみが出ており予定通りのひずみ（応力）が導入されている。

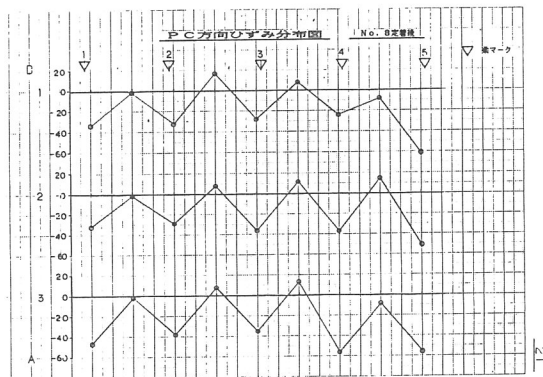


図-8 ケーブル方向ひずみ分布図

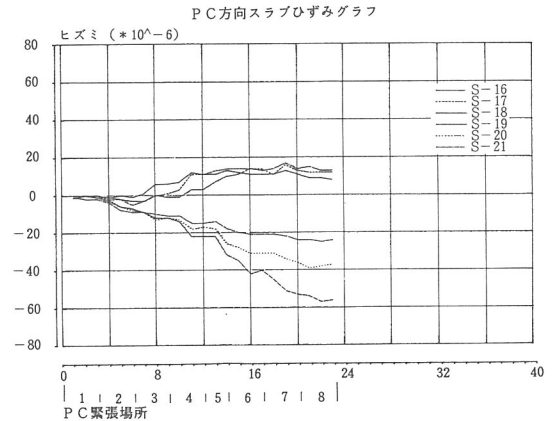


図-9 ケーブル方向ひずみグラフ

5.3 緊張時のスラブのむくり量

図-10にプレストレス導入後のスラブのむくり量を示す。

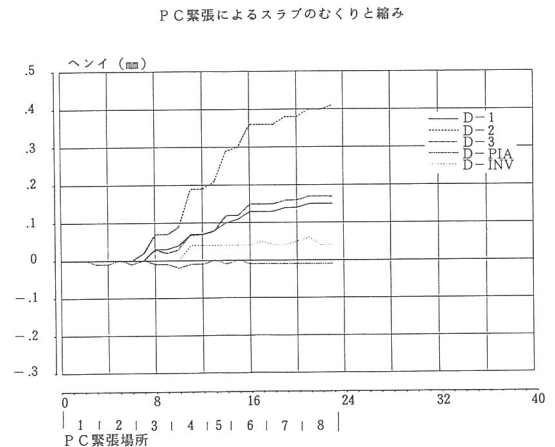


図-10 ケーブル緊張によるスラブのむくりグラフ

むくり量はスラブ中央で最大0.4mmとなっており、ほぼ左右対称に分布している。この値については、他の論文等に発表されている周辺固定スラブの値に一致しており妥当なものと判断できる。また、むくり量が左右対称に分布している点からPC鋼線が放物線状に正しく配置されていることがわかり、施工精度の確かさがうかがえる。

5.4 載荷（水はり）試験によるスラブのたわみ量

図-11に載荷（水はり）によるスラブのたわみ量の測定結果を示す。

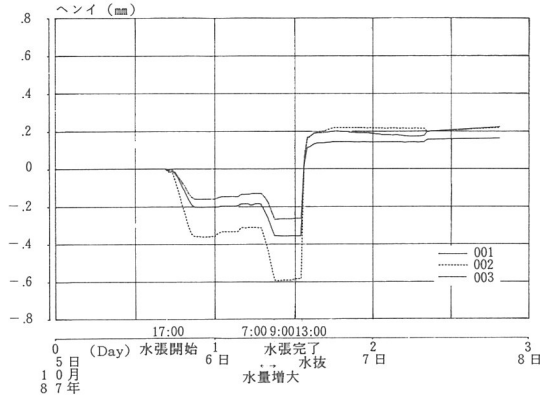


図-11 載荷（水はり）試験結果

- 10/5 PM16:30 水はり開始 たわみ量漸増
PM21:00 水はり休止 少量のリバウンドが認められる。
- 10/6 AM7:00 水量増加 たわみ量漸増
AM9:00 所定水量 最終たわみのまま
PM13:00 水抜き開始 0.14~0.22mmのリバウンドが認められる。
- PM13:30 水抜き完了 リバウンドの変化なし。
- 10/7 AM9:30 計測終了

300 kgf/m² 載荷時の中央たわみ量は約 0.6 mm となっており、P C 鋼線緊張によるむくり量 0.4mm を差し引くと、水平状態から約 0.2mm たわんだことになる。また、図からわかるように水抜き後にリバウンドが認められ、その値はスラブの中央と端部であまり大きな差がみられなかった。なぜリバウンドしたかその原因は不明であるが、スラブコンクリートが水はり中に受けた温度変化の影響によるものではないかと推測する。

5.5 アンボンドスラブの振動特性

表 1～4 に測定結果を、図-12 にその波形を、また、図-13 および図-14 にその減衰定数を示す。

表-1 床振動測定結果表

床中央加振										
回数	校正値	1	2	3	4	5	平均			
測点	振幅 レンジ	振幅 階数(1)	振幅 階数(2)	振幅 階数(3)	振幅 階数(4)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)
1	振幅高(μm)	42.5	18.8	19.4	21.0	21.5	22.4	20	17.0	
	速 度(mm/s)	100	17.3	20	17.8	20	19.3	20	20.6	20
	変 位(μm)		138	142	154	158	164	20	151	
2	振幅高(μm)	30.2	13.3	13.0	13.6	12.8	14.3	20	17.3	
	速 度(mm/s)	100	17.2	20	16.8	20	17.6	20	18.5	20
	変 位(μm)		127	134	140	132	147	20	138	
3	振幅高(μm)	23.0	19.5	19.1	18.0	19.0	19.0	20	18.2	
	速 度(mm/s)	30	10.5	20	10.3	20	9.66	20	10.2	20
	変 位(μm)		83.6	82.0	76.9	81.2	81.2	20	81.2	
4	振幅高(μm)	36.7	22.2	44.0	27.1	33.0	37.0	20	3.69	
	速 度(mm/s)	10	3.43	20 (40)	2.88	20	3.51	20 (40)	29.4	
	変 位(μm)		27.3	27.5 (18.4)	22.9	27.9	31.4 (15.7)	20	29.4	
5	振幅高(μm)	27.1	21.4	20.5	23.5	23.2	24.4	20	18.3	
	速 度(mm/s)	30	8.75	20	9.34	10.7	10.6	20	11.1	20
	変 位(μm)		77.6	74.3	85.1	84.4	88.3	20	82.8	
6	振幅高(μm)	26.2	21.4	24.0	22.5	25.2	28.0	20	11.4	
	速 度(mm/s)	30	10.1	20	11.3	20	11.9	20	13.2	20
	変 位(μm)		80.4	89.9	84.4	94.7	106	20	96.7	

表-2 床振動測定結果表

床スパン1/2地点加振										
回数	校正値	6	7	8	9	10	平均			
測点	振幅 レンジ	振幅 階数(1)	振幅 階数(2)	振幅 階数(3)	振幅 階数(4)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)
1	振幅高(μm)	45.5	25.8	27.0	27.0	24.1	25.8	20	7.09	
	速 度(mm/s)	30	7.27	20	7.32	20	6.54	20	7.00	20
	変 位(μm)		57.9	58.3	58.3	52.0	55.7	20	56.4	
2	振幅高(μm)	28.0	16.0	15.2	15.2	14.1	15.7	20	6.78	
	速 度(mm/s)	30	7.05	20	6.70	20	6.52	20	6.92	20
	変 位(μm)		56.1	53.3	53.3	51.9	55.1	20	54.0	
3	振幅高(μm)	20.2	31.0	29.7	31.0	19.8	24.7	20	5.27	
	速 度(mm/s)	10	5.99	20	5.74	20	5.99	20	4.78	20
	変 位(μm)		47.7	45.7	47.7	30.5	38.0	20	41.9	
4	振幅高(μm)	18.0	39.5	37.6	40.1	29.0	29.5	20	21.7	
	速 度(mm/s)	3	2.57	20 (40)	2.44	20 (40)	2.61	20 (40)	1.92	20
	変 位(μm)		20.5	19.4	20.810.4	10.3	16.3	20	17.3	
5	振幅高(μm)	18.1	28.5	29.1	30.5	24.8	25.5	20	5.97	
	速 度(mm/s)	10	6.15	20 (40)	6.28	20 (40)	6.58	20 (40)	5.50	20
	変 位(μm)		48.9	50.0	52.426.2	42.6	43.8	20	47.5	
6	振幅高(μm)	17.7	31.0	30.1	31.0	20.5	24.7	20	6.06	
	速 度(mm/s)	10	6.84	20 (40)	6.64	20 (40)	6.84	20 (40)	5.45	20
	変 位(μm)		54.5	52.8	54.427.2	36.0	43.4	20	48.2	

表-3 床振動測定結果表

歩 行										
回数	校正値	1	2	3	4	5	平均			
測点	振幅 レンジ	振幅 階数(1)	振幅 階数(2)	振幅 階数(3)	振幅 階数(4)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)
1	振幅高(μm)	45.5	22.8	30.4	40.5	24.8	24.8	20	0.804	
	速 度(mm/s)	3	0.619	20	0.825	20	1.099	20	0.673	20
	変 位(μm)		4.93	6.57	8.75	5.36	5.36	20	6.40	
2	振幅高(μm)	28.0	14.8	17.6	25.5	15.5	15.5	20	0.808	
	速 度(mm/s)	3	0.652	20	0.776	20	1.12	20	0.683	20
	変 位(μm)		5.19	6.18	8.91	5.44	5.44	20	6.43	
3	振幅高(μm)	20.2	22.2	24.5	23.5	20.1	20.1	20	0.441	
	速 度(mm/s)	1	0.391	20	0.431	20	0.589	20	0.354	20
	変 位(μm)		3.11	3.43	4.69	2.82	2.82	20	3.51	
4	振幅高(μm)	19.0	22.4	21.1	30.5	18.6	18.6	20	0.151	
	速 度(mm/s)	0.3	0.146	20	0.137	20	0.198	20	0.121	20
	変 位(μm)		1.16	1.69	1.58	0.963	0.963	20	1.20	
5	振幅高(μm)	18.1	19.7	24.5	31.3	18.5	18.5	20	0.507	
	速 度(mm/s)	1	0.435	20	0.529	20	0.676	20	0.399	20
	変 位(μm)		3.38	4.21	5.28	3.18	3.18	20	4.03	
6	振幅高(μm)	17.7	17.4	22.0	28.5	17.8	17.8	20	0.473	
	速 度(mm/s)	1	0.384	20	0.486	20	0.629	20	0.393	20
	変 位(μm)		3.06	3.87	5.01	3.13	3.13	20	3.76	

表-4 床振動測定結果表

ジャンプ										
回数	校正値	1	2	3	4	5	平均			
測点	振幅 レンジ	振幅 階数(1)	振幅 階数(2)	振幅 階数(3)	振幅 階数(4)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)	振幅 階数(5)
1	振幅高(μm)	39.9	28.0	22.8	25.0					
	速 度(mm/s)	30	8.66	7.05	7.73	20				7.81
	変 位(μm)		68.9	56.1	61.5					62.2
2	振幅高(μm)	26.2	16.5	12.4	16.2					
	速 度(mm/s)	30	7.77	5.84	7.63	20				7.08
	変 位(μm)		61.8	46.5	60.7					56.3
3	振幅高(μm)	13.0	15.1	13.1	16.1					
	速 度(mm/s)	10	4.54	3.94	4.84	20				4.44
	変 位(μm)		36.1	31.4	38.5					35.3
4	振幅高(μm)	37.0	14.5	12.1	15.9					
	速 度(mm/s)	10	1.53	1.28	1.58	20				1.46
	変 位(μm)		12.2	10.2	12.6					11.6
5	振幅高(μm)	28.3	38.8	24.0	34.0					
	速 度(mm/s)	10	5.36	3.31	4.69	20				4.45
	変 位(μm)		42.7	26.3	37.3					35.4
6	振幅高(μm)	26.1	37.0	26.5	33.7					
	速 度(mm/s)	10	5.54	3.97	5.04	20				4.85
	変 位(μm)		44.1	31.6	40.1					38.6

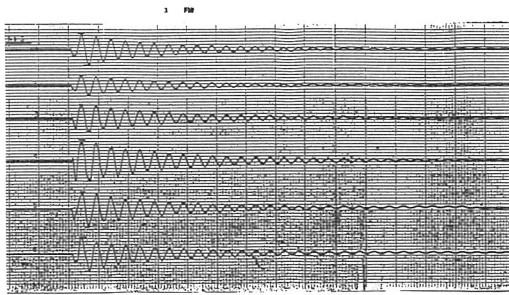


図-12 測定波形

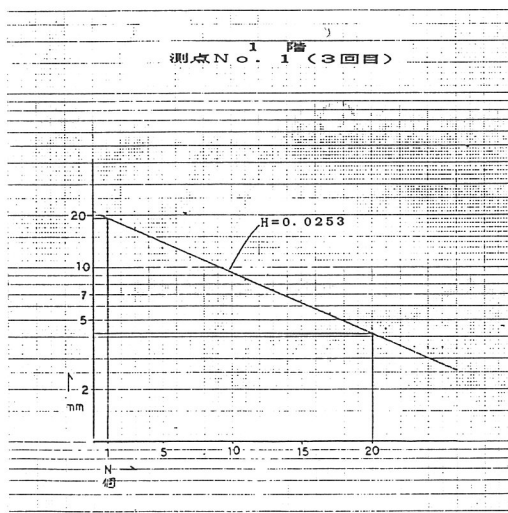


図-13 減衰定数

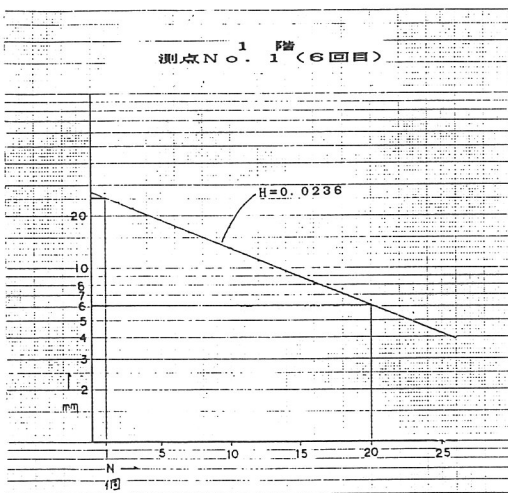


図-14 減衰定数

以上から

- ① 基本周波数は20Hzである。
 - ② 振幅はスラブ中央に砂袋を落下させたときで151 μ 、歩行時で6.43 μ である。
 - ③ 減衰定数は0.024程度である。
 - ④ K値はスラブ中央に砂袋を落下させたときで15.1、歩行時で0.643である。
- という結果が得られた。

5.6 スラブのひび割れ状況

支保工撤去後、現在まで月に1回目視による観察を行っているが、いかなるひび割れも認められていない(20カ月間)。

6. まとめ

以上の調査・計測結果から次のようなことがわかった。

- ① 摩擦損失量は定着完了時で5%程度であり、これは $\mu=0.03\sim0.06$ とすると $\lambda=0\sim0.001$ となり設計値を充分下回っている。
- ② 定着完了時にコンクリートに導入された応力は、圧縮側で4.4 $\sim$ 11.6 kgf/cm² (22 $\sim$ 58 μ)、引張側で3 kgf/cm² (15 μ)であった。
- ③ 定着完了時のスラブのむくり量は、中央で0.4 mmであり左右対称に分布している。
- ④ 300 kgf/m² 載荷時のスラブのたわみ量は、中央で0.6 mmとなったがむくり量0.4 mmを差し引くと0.2 mmであった。ただ、除荷後0.2 mmのリバウンドが認められており、その原因は不明である。
- ⑤ スラブの基本周波数は20 Hz、減衰定数は0.024、K値は歩行時で0.643であり、小ばりを設けたRCスラブよりは、軟らかいスラブであることを示している。
- ⑥ 竣工後約1年半経過したが、現時点では何等のひび割れも認められず、ひび割れ防止に効果があるといえる。

(参 考)

データ整理には以下の公式を用いている。

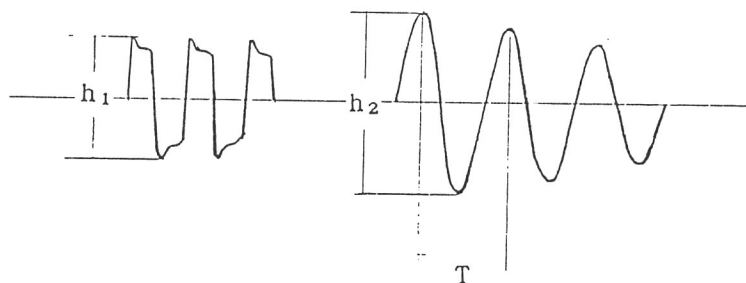
電磁オシロ記録計による速度振幅記録には第1波（最大振幅）の両振幅を読み取りまた、同期も同様に第1波（最大振幅）のものを読み取る。

$$\cdot T \text{ (周期 [sec]) } = \frac{\text{1波の長さ (波長) [mm]}}{\text{紙送り速度 [mm/sec]}}$$

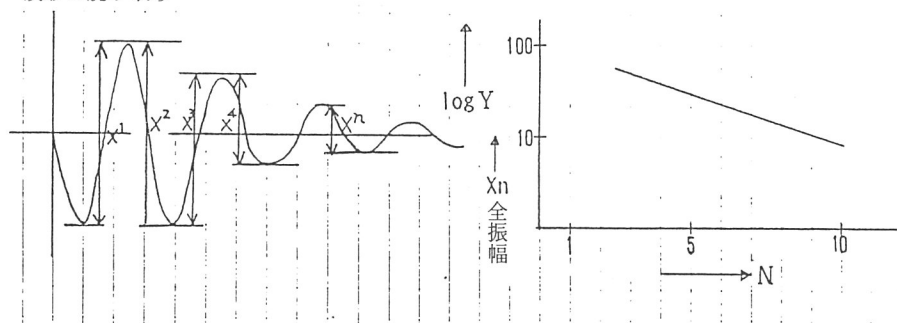
$$\cdot f \text{ (周波数 [Hz]) } = \frac{1}{T \text{ [sec]}}$$

$$\cdot v \text{ (速度 [mm/sec]) } = \frac{\text{記録幅 (両振幅)}}{\text{CAL幅 (両振幅)}} \times \frac{\text{測定レンジ } h_2}{2.56} = \frac{\text{測定レンジ}}{h_1} \times \frac{2.56}{2.56}$$

$$\cdot x \text{ (変位 } [\mu] \text{) } = \frac{v}{2\pi f} \times 1000$$



減衰定数
波形の読み取り



$$h = \frac{\log V}{\sqrt{\pi^2 + (\log V)^2}}$$

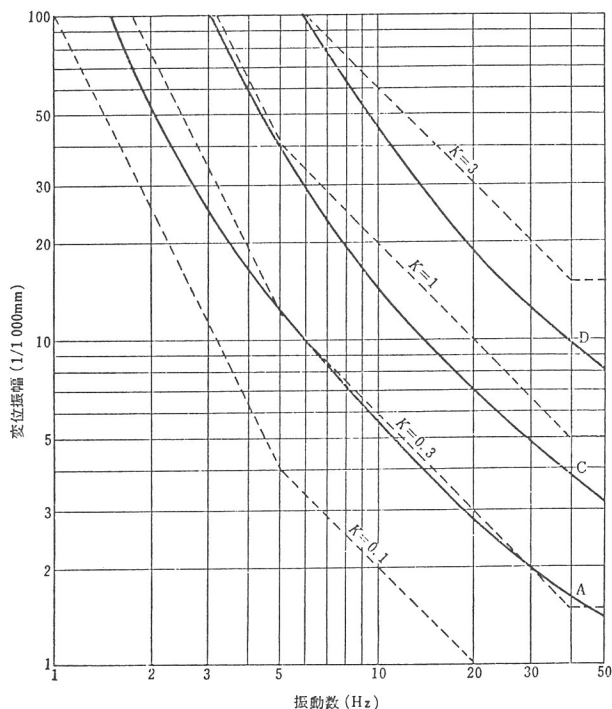
$$\log V = -2.3 G$$

h : 減衰定数
 $\log V$: 対数減衰率

$$G : \text{コウ配} = \frac{\log Y}{N}$$

ただし $G = -\log_{10} V$

床振動感覚についての参考値



付図 D I N 4025 および Neister の振動感覚曲線

[注] 1. D I N 4025 のK値

K 値	分 類	作業への影響
0.1	わずかに知覚しうる振動	影響なし
0.1～0.3	やっと知覚しうる。容易に耐えうるがわずかに不快	“
0.3～1	容易に気づき、耐えうるが1時間以上続くと比較的不快	まだ影響なし
1～3	強く気づき、まだ耐えうるが1時間以上続くと非常に不快	{ 影響はあるが作 業は可能
3～10	不快、1時間以内ならば耐えうるが、それ以上は耐えられない	{ かなり影響はあ るが作業は可能
10～30	非常に不快、10分以上は耐えられない	やっと可能
30～100	まったく不快、1分以上は耐えられない	不可能
100～	有害	“

5 Hz以下： $K=0.001 \delta$ f 2、5～10Hz： $K=0.005 \delta$ f 、40Hz以上： $K=0.2 \delta$
 δ ：変位振幅 (μ)、 f ：振動数 (Hz)

2. Neisterの感覚曲線

A曲線：ようやく感ずる下限値

C曲線：よく感ずる下限値

D曲線：強く感ずる下限値

3. 付図11.1は正弦振動を対象としたものである。三輪の研究¹⁾によればランダム振動や継続時間0.5秒程度の衝撃振動に対しては振動加速度レベルで4～5 dBの差が表れている。これは振幅比で0.6倍に相当する。

参考文献

プレストレスト鉄筋コンクリート（Ⅲ種P C）構造設計・施工指針・同解説 日本建築学会
 プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説 日本建築学会
 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 日本建築学会