

1. 研究目的

今日、既製鉄筋コンクリートクイの打ち込み工法の大半は打撃によるもので、この方法には施工の簡易さと作業能率の優秀性という利点がある。しかしこの方法はしばしばクイ体を破損せしめる欠点があり、施工管理の面で難点がある。そこで打撃によるクイ体損傷の原因を明らかにして工法の改良を行なうとともに、これらの成果を生かして施工の基準化をばかり、同工法の施工信頼度を高める必要がある。

本研究では、種々の打撃打ち込みハンマーを用いて、鉄筋コンクリートクイを同一地盤に打ち込み、打ち込み時に生じる打撃応力を測定することによって、打撃エネルギーの適正範囲をきめ、クイ頭のクッション効果、クイ打ち時に生じる偏打、打ち込み地盤のクイ体によぼる影響などを明らかにせんとするものである。

2. 実験方法

遠心力締め固めによって作られたRCクイ（外径350mm、肉厚6mm、長さ13mの単クイ）およびPCクイ（外径350mm、肉厚6mm、下クイ13m、上クイ7mの2本継クイ）のクイ頭、クイ中間、クイ先端に電気抵抗線ひずみ計を取りつけ、各種ハンマー（20および30cmのドロップハンマーD-12およびD-22のジーゼルハンマー）でクイを打ち込んだ時の動ひずみ計をビジグラフで測定した。同時にクイのリバウンド量、貫入量および打撃回数やハンマー一落高も測定した。

なお打ち込み地盤は大阪市の神崎川河川敷で行なった。本地盤のボーリングによる結果は、深度6~7m附近にN値15~20の砂層があり、12~13mにN値30~50程度の硬砂レキ層が存在し、その下部はN値20~35程度の砂層、シルト層となっている。

3. 実験結果およびその考察

(1) クイと同一配合のコンクリートの圧縮強度

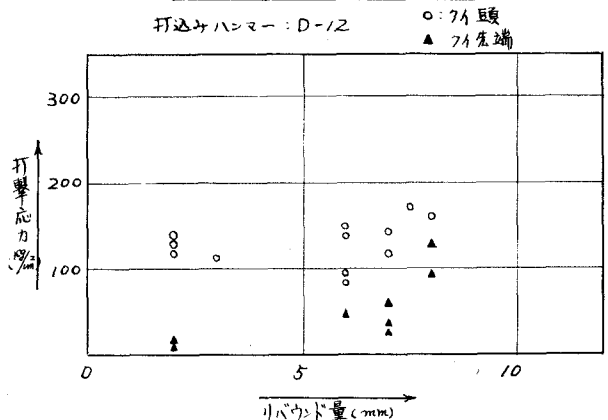
標準供試体によるRCクイ用コンクリートで 486 kg/cm^2 、PCクイ用コンクリートで 629 kg/cm^2 であった。またPCクイの有効プレストレス量は 53 kg/cm^2 であった。

(2) リバウンド量と打撃応力の関係

図-1はD-12によって打ち込みを行なった場合のクイ頭およびクイ先端に生じる打撃応力とリバウンドの関係である。この図から、クイ頭の応力はリバウンド量に

関係しないがクイ先端の応力はリバウンド量の増加とともに増加することがわかる。他のハンマーによる打ち込み

図 1 リバウンド量と打撃応力

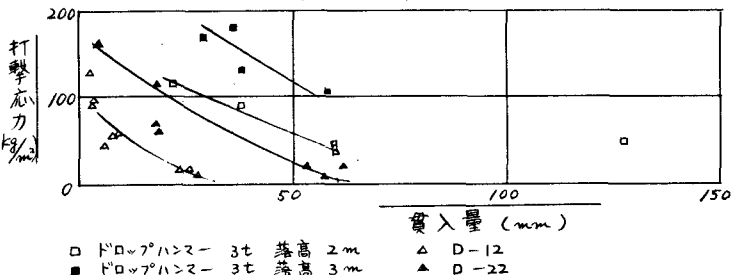


も同様の傾向を示した。

(3) 貫入量と打撃応力の関係

図-2は1打撃当りの貫入量と打撃応力の関係である。これよりクイ先端応力は貫入量とはほぼ無関係であるが、クイ先端応力は貫入量の増加とともに減少する傾向にある。

図 2 貫入量と打撃応力
クイ先端



(4) N値と打撃応力の関係

打撃応力はN値の増加とともに増加するが、クイ先端でこの傾向が顕著であった。

(5) 貫入量と打ち込み時間

打ち込みハンマー別に1打撃当りの貫入量を比べると3セドリップハンマーでD-12の4.4倍、D-22および2セドリップハンマーで同じく2.2倍程度になった。またD-12ではN値40~50の中間層は貫入不能であった。打撃回数はジゼルハンマーが多いが、クイ打ち所要時間はドロップハンマーが少なかった。

図 3 N 値 と 打撃 応 力

(6) 打ち込みハンマーと打撃応力

表-1は打ち込みハンマー別に求めた平均の打撃応力であり、図-4は深度と打撃応力の関係である。

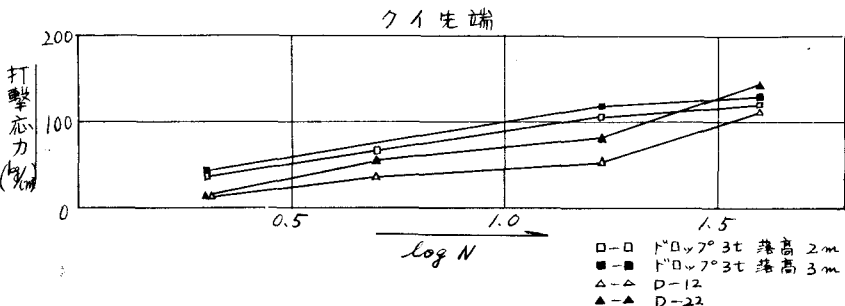


表 1 打ち込み深度と打撃応力 (kg/cm²)

る。これから判断すると打撃応力の大きさはほぼ深度が増すとともに増加しており、一般にドロップハンマーで打ち込む場合はジゼル

打ち込み深度 (m)		2		6		9		12		接続後 12		15		16		18		19	
ハンマー落高 (m)		2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	
ドロップ 7t	下クイ	21頭①	194	170	235	224	267	256	300										
		21中間②	133	110	186	142	178	—	—										
		21先端③																	
ドロップ 7t	上クイ	21頭④								254	309	337	440					324	387
		21先端⑤								176	242	238	316					176	240
	下クイ	21頭①	246	270	354	248	325	338	411	169	219	205	272					285	367
3t		21中間②	94	172	203	132	158	139	165										
		21先端③	67	106	118	39	42	123	129	159	191	176						—	—
	ハンマー落高 (m)	1.4	1.6	1.5	1.7														
D 12	上クイ	21頭④																	
		21先端⑤																	
	下クイ	21頭①	103	143		129	158												
		21中間②	83	123		122	137												
		21先端③	37	55		15	112												
	ハンマー落高 (m)	1.2	1.5	1.2	1.8					1.8	2.0	2.1	2.0	2.1					
D 22	上クイ	21頭④								247	317	354	300	308					
		21先端⑤								200	302	326	293	314					
	下クイ	21頭①	114	190		138	246			227	313	330	336	347					
		21中間②																	
		21先端③	56	82		13	143			162	129	172	186	186					

ベルハンマーで打ち込む場合より大きく、3トンドロップハンマーで打ち込む場合はD-12の2～2.5倍となり、3m落高とすればその値はしばしば400 kg/cm²以上となる。

(7)偏打の打撃応力にあよばす影響

(4)で述べた応力の値は断面の平均値であって、この値はクイがまったく偏心せずに打ち込まれた場合の値に相当する。しかしながら施工上の誤からして偏打なしにクイを打ち込むことは不可能である。偏打によって断面に応力の不均一性が生じそのため断面には局部的に平均応力よりも大きな応力が生じる。この応力の不均一性を求めた推定の最大応力は表-2のようになった。クイのコンクリート圧縮応力は前述したごとくである。

るが、クイは大きな繰返し荷重を受け、この中で打ち込み中のクイの強度はやや低下しているものと考えられる。ドロップハンマーでは一部コンクリート強度を越えているものもある。また偏打によって曲げモーメントが働きPCクイにおいてもしばしばひびわれ発生モーメントを越えることがあった。

(8)クッション効果

クッションによる応力緩和は認められるが、現状までのところゴムを主体とした人工クッションには天然クッションに比べ応力緩和、耐打性、コストの点で特にすぐれたものはなかった。またクッションは偏打を減少させるが変入量も減少させた。

以上の点から打撃打ち込みによるクイ打ち工事では使用ハンマーとして効率および安全性の面でジ

図-4 打ち込み深度と打撃応力

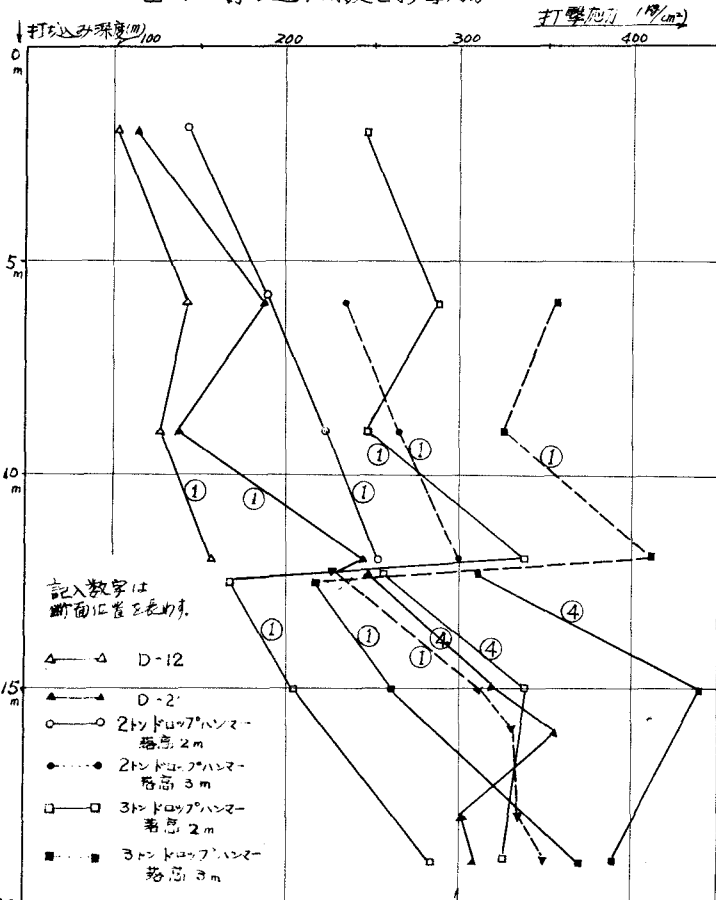


表 2 クイ打ち時に生じた推定最大応力 (kg/cm²)

深度 (m)	2	6	9	12	12	15	16	18	19	区間最大
D-12	150	208	209	236	216					236
D-22	189	312	259	386	383	402	392	421	421	421
ドロップ 2トン 落高 2m	185	369	304	428						428
2トン 落高 3m		400	328	465						465
ドロップ 3トン 落高 2m	324	352	330	565	316	361			391	565
3トン 落高 3m		448	410	697	441	496			541	697

ーゼルハンマーがよく、なかでもD-22が最も適当であり、施工管理の面からはウイエ273の方がより正常に打ち込む必要があり、また適当なクッションも装備しなければならないこととなる。

4. 打撃応力の推定理論

(1) エネルギーのつりあいに基く方法

$$\sigma = \sqrt{\frac{2eEWH}{AL}} \quad \dots\dots (1)$$

W, H: ハンマーの重量および落高

A, L, E: クイの断面積, 長さ, 弾性係数

e: 打撃効率 (ドロップハンマーでは0.6)

RC 13m クイについて(1)によって求めた推定打撃応力

は図-5のようになり、実験値とは大きく異なっていることがわかる。この原因は(1)式ではハンマーによる打撃力が瞬間的にクイ全体に一樣分布していることと仮定しているからであり、これは実際のクイ打ちとは矛盾していると思われるからである。したがって(1)式を打撃応力の推定式として使われることは問題がある。

(2) 波動方程式に基づく方法

(a) 縦波が一方方向にのみ進行し完全弾性衝突を仮定する場合 クイ頭部力は

$$\sigma = \frac{\sqrt{2\rho_p E_p e H}}{\left(1 + \frac{A_c}{A_H} \sqrt{\frac{E_c \rho_c}{E_H \rho_H}}\right) \left(1 + \frac{A_p}{A_c} \sqrt{\frac{E_p \rho_p}{E_c \rho_c}}\right)} \quad \dots\dots (2)$$

A_H, A_c, A_p: ハンマー, クッション, クイの断面積

E_H, E_c, E_p: ハンマー, クッション, クイの弾性係数

ρ_H, ρ_c, ρ_p: ハンマー, クッション, クイの単位体積重量

σはハンマーの落高の平方根に比例しているがこれは実験において認められたが、ハンマー重量は無関係であることは実験とは矛盾する。この点が(2)式の難点である。

(b) クイ先端の貫入量ε<1, クッションの粘性を無視した場合

$$\sigma = \frac{KV}{AP} \exp\left(-\frac{n}{\sqrt{p^2 - m^2}} \sin^{-1} \frac{\sqrt{p^2 - m^2}}{p}\right) \quad \dots\dots (3)$$

$$n = \frac{K}{2A} \sqrt{\frac{g}{E_r}}, \quad p = \sqrt{\frac{K g}{W}}, \quad K = \frac{E_c A_c}{t_c}$$

A, g: コンクリートの断面積および単位体積重量 $V = \sqrt{2gH}$ t_c : クッション厚さ

(3)式によって実験と同条件のクイについて打撃応力を推定すると図-6のようになった。実験値と理論値は比較的良好に合っているが、理論式は貫入量ε<1であり、かつクイが中詰めであることを仮定しているが、この点を考慮すると実験値と多少の不一致をみると考えられ、(3)式は貫入量の少ない地質で使い、かつクイの断面積の補正をすれば打撃応力推定式として適合度の高いものと思われる。

図 5

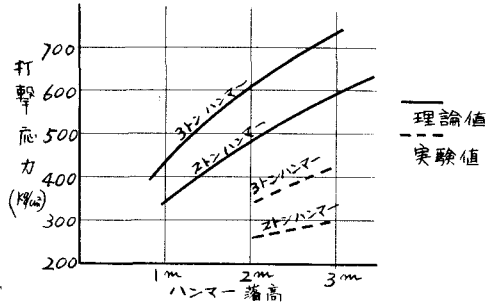


図-6 推定打撃応力と実験値

