

[85] 若材令時の衝撃振動がコンクリートの物性に及ぼす影響

正会員 ○福留 和人(間組 技術研究所)

正会員 喜多 達夫(間組 技術研究所)

1. まえがき

著者らは、昨年、若材令時の一時的な静的荷重が硬化後のコンクリートの物性に及ぼす影響について報告した。一方、若材令時の外力の影響については、静的荷重だけでなく、振動のような動的荷重の問題もある。これらの中で、交通振動のような定常振動の影響については、いくつか研究⁽¹⁾もなされデータも得られている。しかしながら、発破振動や杭打ち振動のような衝撃振動の影響については、ほとんど研究⁽²⁾がなされておらず、データも不足しているのが現状である。そこで、今回は、衝撃振動の影響に問題を絞り、実際のトンネル現場において発破振動を与える現場実験と室内において模擬振動を与える室内実験を実施した。ここでは、今回得られた結果とそれに対する若干の考察について報告する。

2. 実験概要

2.1 現場実験

(1) 実験条件および試験項目：本実験の要因は、表-1に示すように、打設後最初の振動を受ける時の材令と振源からの距離(振動レベル)の2要因とした。材令は、2, 4, 6時間の3水準、振源からの距離は、50, 100 mの2水準とした。ここで、50, 100 mにおける振動の測定値は、表-2に示す通りである。なお、供試体は約24時間所定位置に設置したため、この間3回発破振動を受けている。実験を実施した項目は、圧縮強度・引張強度試験および鉄筋とコンクリートの付着強度試験である。

(2) 使用材料およびコンクリートの配合：使用したセメントは、比重3.16の普通ポルトランドセメント、細骨材および粗骨材は、箒川産の川砂(比重2.56)および川砂利(比重2.57)である。混和剤は、リグニンスルホン酸塩系のAE減水剤をセメント重量の0.25%用いた。コンクリートの配合は、表-3に示す通りである。

(3) コンクリートの練りまぜおよび供試体作製：コンクリートの練りまぜは、生コンのパッチャープラントで行い、打設場所までトラックミキサ(2.0 m³積み)で運搬した。運搬時間は、15分程度であった。供試体設置場所所で所定量を搬出し、その場所で均一となるように練り返しを行った後打設した。供試体は、圧縮強度試験用としてφ13×30 cm, 引張強度試験用としてφ15×20 cm, 付着強度試験用として一辺15 cmの立方体の中心にφ19 mmの異型鉄筋を埋込んだものとした。

(4) 供試体設置方法：供試体設置場所は、トンネル坑口およびトンネル内の所定位置(振源から50 mあるいは100 mの所)である。トンネル内に設置する供試体は、岩盤からの振動が直接伝わるようにするために、岩盤上に直接コンクリートの架台を作製し、その上に

表-1 実験要因(現場実験)

実験要因	水準
(1) 振動を受ける材令	2, 4, 6 時間
(2) 振源からの距離	50, 100 m

表-2 発破振動測定結果

測点	振源からの距離(m)	振動成分	振動加速度(gal)		振 動 数(Hz)	
			1	2	1	2
1	50	x	156	163	200	200
		y	107	92	200	240
		z	90	79	250	240
2	100	x	50	39	150	130
		y	50	30	140	130
		z	50	33	170	240

注1) 振動成分は右図による。

2) 加速度は片振幅値。

3) 振動数および加速度は心抜きの数値。

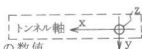


表-3 コンクリートの配合(現場実験)

最骨材寸法 (mm)	スラン 範囲 (mm)	空気量 (%)	水セ メント 比 (%)	細骨 材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
40	12±2.5	4±1	55	39.0	15.6	284	715	1118
								0.788

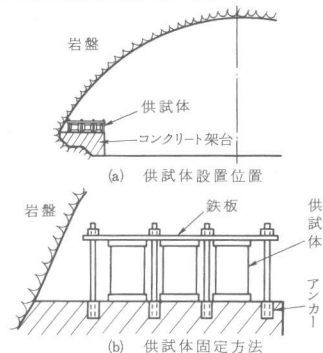


図-1 供試体設置方法

図-1に示すような方法で固定した。

(5) コンクリートの養生：供試体は、翌日脱型し、材令7日までトンネル内の発破振動の影響を受けない位置（振源から700～800 m離れた位置）で湿布養生を行った。材令7日でトンネル内から運び出し、材令28日まで水中養生（ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ）を行った。

(6) 強度試験：強度試験は、圧縮強度・引張強度試験の場合は、材令7日および28日について実施した。付着強度試験は、材令28日について実施した。載荷装置は、それぞれ圧縮・引張強度の場合は、200tfアムスラ万能試験機を、付着強度の場合は、50tfアムスラ万能試験機を用いた。また、付着強度試験では、自由端の鉄筋の引込まれ量を測定した。また、トンネル坑口の発破振動の影響がない場所に設置した供試体の強度試験も同時に実施し、この強度と比較することによって若材令時の発破振動の影響を評価した。

2.2 室内実験

(1) 実験条件および試験項目：本実験の試験要因は、表-4に示すように振動を受ける材令および振動回数の2要因とした。振動を与える材令は、現場実験と同様に、2, 4, 6時間の3水準とした。振動回数は、その影響を明確に把握するために、通常で考えられる回数よりやや多目の値を設定した。また、振動レベルは、通常の発破や杭打ち振動よりやや大きな目の値とし、振動加速度2400 gal, 振動数110Hzとした。実験を実施した項目は、圧縮強度・引張強度試験である。ここで、圧縮強度の場合は、振動方向の影響を知るために、載荷方向の振動と載荷方向に垂直な方向の振動を与えた供試体について強度試験を実施した。

表-4 実験要因（室内実験）

実験要因	水準
① 振動を受ける材令	2, 4, 6時間
② 振動回数	1, 5, 25回
振動レベル	2,400 gal, 110 Hz

(2) 加振方法：供試体への振動は、図-2に示すように、正方形の鉄板を4点で支持した台の上にコンクリートを打設した型わくを固定し、その台の中央に重錘を落下させることによって与えた。ここで、振動レベルは、鉄板の厚さおよび重錘の落下高さによって調整した。供試体は、振動を与える直前に台に固定し、所定の振動を与えた後直ちに台から取りはずした。

(3) 使用材料およびコンクリートの配合：使用したセメントは、比重3.16の普通ポルトランドセメント、細骨材は、大井川産の川砂（比重2.59）、粗骨材は、秩父産の碎石（比重2.69）である。混和剤は、リグニンスルホン酸塩系のAE減水剤をセメント重量の0.25%用いた。コンクリートの配合は、表-5に示す通りである。

(4) コンクリートの練りまぜおよび供試体作製：コンクリートの練りまぜは、120ℓの可傾式ミキサを用いて行った。材料は、同時にミキサに投入し、練りまぜ時間は3分間とした。供試体は、圧縮強度試験用として $\phi 10 \times 20\text{ cm}$ 、引張強度試験用として $\phi 15 \times 20\text{ cm}$ の円柱供試体を用いた。圧縮強度試験は、振動方向の影響を知るために、通常の縦向きに打設した供試体と型わくを水平にして打設した供試体の2種類作製した。

(5) コンクリートの養生：供試体は、打設日の翌日脱型し、所定の材令まで恒温水循環装置を備えた水槽内（ $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ）で水中養生を行った。

(6) 強度試験：縦方向に打設した供試体の圧縮強度試験は、材令7日および28日について、横方向に打設した供試体の圧縮強度および引張強度試験は、材令28日についてそれぞれ実施した。また、振動を与えていない供試体の強度試験も同時に実施し、その強度を基準強度として振動の影響を評価した。

表-5 コンクリートの配合（室内実験）

最骨材寸法 （mm）	スラン プ（cm）	空の 気（%）	水セ ト比 （%）	細骨 材率 （%）	単 位 量（kg/m ³ ）				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
20	12±2.5	4±1	50	42.8	166	332	768	1062	0.83

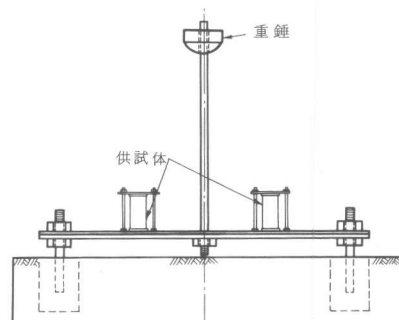


図-2 振動台

3. 実験結果および考察

3.1 現場実験

(1) 圧縮強度および引張強度への影響

図-3, 4は、発破振動を受けた供試体の強度と受けていない強度を材令7日および28日において比較したものである。ここで、図の縦軸は、振動を受けた供試体強度の基準強度に対する比を示したものである。

材令7日では、2時間および4時間に振動を受けた場合に若干基準強度を下回ったものが見られるが、6時間に振動を受けたものは、すべて基準強度を上回っている。材令28日になると、2時間に振動を受けたものは、ほとんど基準強度と同等となっている。一方、4時間に振動を受けたものは、基準強度を下回っているものが見られるが、その影響も材令7日に比べてやや小さくなっている。これから、材令7日から28日までの水中養生期間において若干の強度回復が見られたことがわかる。次に、振動レベルによる影響を見ると、材令7日、28日とも振源に近い方が若干強度が低くなっている。また、基準強度を下っているのもほとんど振源から50mの場合である。

以上から、材令4時間程度で高レベルの振動を受けると、コンクリートの強度に対して何らかの影響を受ける可能性があるといえる。材令4時間は、コンクリートの凝結が開始する時間であり、最も振動の影響を受けやすい時期であるのかも知れない。

(2) 付着強度への影響

図-5は、付着強度に及ぼす振動の影響について示したものである。ここで、 $\tau_{0.05}$ 、 $\tau_{0.10}$ 、 τ_{cr} は、それぞれ、自由端のすべり量が0.05、0.10mmの時の平均付着応力度および破壊時の平均付着応力度を示す。

破壊時の付着応力については、材令4時間に振動を受けた場合がやや基準強度を下回っているが、他は、振源からの距離にかかわらずほぼ無振動の場合と同程度である。一方、すべり量0.05、0.10mmにおける付着応力についても材令4時間に50mの位置で振動を与える場合がやや基準を下っている。材令2時間の場合は、基準とはほぼ同程度、材令6時間の場合は、逆に、基準より大きく、振動によりすべりに対する抵抗性が大きくなっている。

以上のように、付着強度の場合も、圧縮・引張強度ほど影響は大きくないが、材令4時間程度で高レベルの振動を受けると若干影響があるようである。

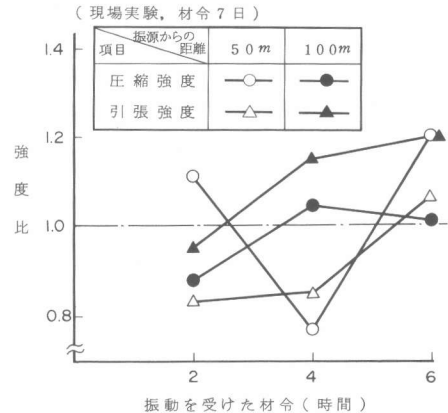


図-3 若材令時の発破振動の影響

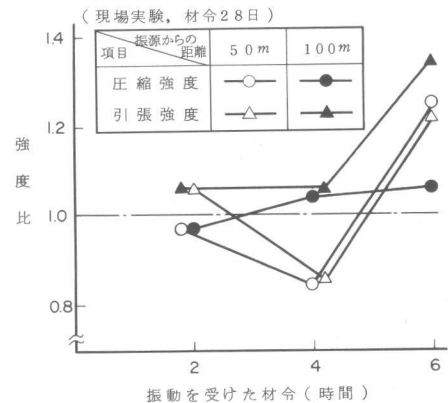


図-4 若材令時の発破振動の影響

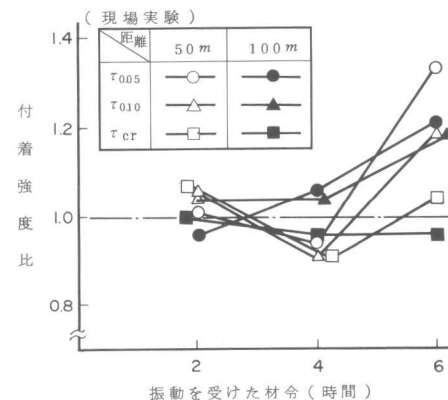


図-5 若材令時の発破振動の影響

3.2 室内実験

図-6,7は、それぞれ圧縮強度および引張強度に及ぼす振動の影響を示したものである。

図-6は、圧縮強度の場合であるが、振動を与える材令、振動回数にかかわらず、すべての場合において基準強度を上回っている。特に、振動回数5回の場合は、基準強度より10～20%の強度増加が見られる。横方向の振動を与えた場合は、振動を与える材令、振動回数にかかわらず、すべてのケースで基準強度を若干上回った強度となっている。このことから、振動方向の影響はほとんどないものと考えられる。

図-7は、引張強度の場合である。図からわかるように、振動を与える材令、振動回数の影響はほとんど見られない。また、圧縮強度の場合と同様にすべての場合で基準強度を上回っている。

以上のように振動を与えることによって強度が増加するのは、振動がコンクリートを締固める効果を与えたためであると考えられる。一方、現場実験では、1,2のケースで強度低下が見られたが、室内実験の結果と考え合せると、強度低下の原因は、振動によるものではなく、他の原因によるものである可能性も考えられる。

4. まとめ

本実験の結果をまとめると次のようになる。(1)現場実験では、材令4時間で振源から50mの位置で振動を受けた場合に若干強度低下が生じた。(2)付着強度は、圧縮・引張強度ほど影響がない。(3)室内実験では、振動を与える材令、振動回数に関係なくすべての場合で基準強度を上回った。

5. あとがき

今回は、若材令時の振動がコンクリートの物性に及ぼす影響を把握することを目的に実験を実施した。特に、データがほとんど存在しないということから、振動を発破振動のような衝撃振動に絞ったり、現場実験および室内実験を実施し、若干のデータを得た。現場実験では、150 gal程度、室内実験では、1000 galを超える加速度の振動を材令2～6時間に与えたが、現場実験の1,2のケースを除いてほとんど影響は見られず、だいたいにおいて逆に若干の強度増加が見られた。室内実験の方が加速度がかなり大きいことを考えると、現場実験における強度低下は、他の原因によるものである可能性もある。今回の実験では、コンクリートがかなり剛なモールドに入った状態で振動を与えているため、逆に締固める効果を与えたものと考えられる。実際には、型わくの剛性は有限であり、高レベルの振動では、たわみ等の変形も大きくなることも考えられる。したがって、今後は、実際により近い状態を再現するような実験方法および条件を考える必要があるように思われる。

参考文献

- (1)例えば、西村昭ら「養生中に振動を受けるコンクリート構造に関する一研究(1)」土木技術, 30巻, 12号, 1975年
- (2) A.J.Hulshizer, A.J.Desai 「Shock Vibration Effects on freshly Placed Concrete」 Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol.110, No.2, June 1984.

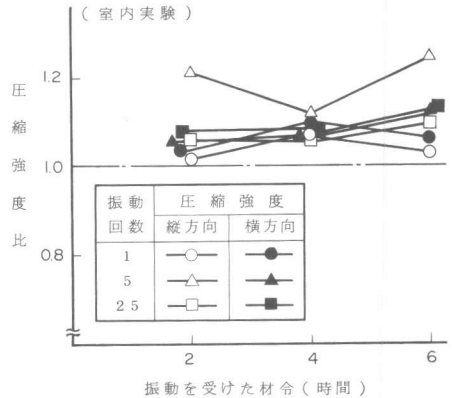


図-6 若材令時の発破振動の影響

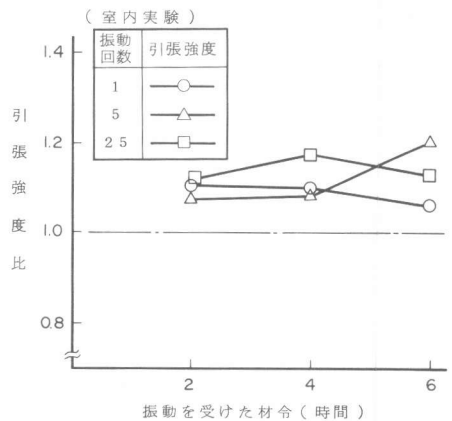


図-7 若材令時の発破振動の影響