

[93] AI 粉末を使用して一体化した逆打ちコンクリートの 打継部せん断挙動

正会員 松 岡 康 訓 (大成建設 技術研究所)

正会員(宇 治 公 隆 (大成建設 技術研究所)

1. はじめに

構造物が大規模になるに従い、工事の安全性、工期短縮、経済性、等を目的として地下工事に逆打ち工法が使われる機会が多くなっている。しかしながら、本工法は上方より下方へ随時躯体を築造するため、上部先打ちコンクリートと下部の後打ちコンクリートとの打継部が不連続となり、構造物としての一体性が問題となる。現在一般に用いられている逆打ち工法としては、先打ちコンクリートの下に直接、コンクリートを打継ぐ直接法、打継面のすき間にグラウトを注入する注入法、そして先打ちコンクリートと後打ちコンクリートとの間を多少残して打設し、あとからコンクリートあるいはモルタルを充てんする充てん法があげられる。このうち、直接法はコンクリートのブリージング沈下により打継部にすき間ができる可能性があり、打継部の一体性に問題がある。一方、注入法及び充てん法は、あらかじめブリージング沈下を見込み、後打ちコンクリート硬化後に先打ちコンクリートとのすき間を埋めて一体化させようというものであるが、工期及び経済性に難点がある。そこで本研究では、直接法に着目し、後打ちコンクリートにAI粉末を混入してAI粉末の発泡によりコンクリートのブリージング沈下を補償し、構造物としての一体化を図ろうというものである。

AI粉末の発泡により一体化した構造物に関しては、これまで物理試験、化学試験をとおして種々の検討を行ってきた。^{1), 2)}

本研究は、AI粉末を使用して直接法で施工したコンクリート部材のせん断挙動に及ぼす種々の要因について検討を加えたものである。

2. 実験概要

2-1 供試体

本試験で検討する要因としては、a) 一体ものと打継部材との比較 b) スターラップの効果 c) 打継角度 d) 打継面の向き e) AI粉末を混入したコンクリートの膨張量 f) 新旧コンクリートの打継材令 g) 養生方法 及び h) 膨張性混和材の混入効果 である。

供試体は図-1に示すごとく複鉄筋長方形断面であり、軸筋としてはSD30のD16 ($\sigma_y = 3870 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{max} = 5700 \text{ kg/cm}^2$), スターラップとしてはSD30のD10 ($\sigma_y = 3930 \text{ kg/cm}^2$, $\sigma_{max} = 5900 \text{ kg/cm}^2$)を使用した。鉄筋比は、軸方向鉄筋比 $P_f = 1.56\%$ 、腹鉄筋比 $P_w = 1.12\%$ である。コンクリートの配合を表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメント(日本セメント社製)、細骨材は大井川産川砂(表乾比重2.60, F.M.3.16)及び木更津産山砂(表乾比重2.58, F.M.2.00)、粗骨材は最大寸法15mmの相模川産砕石(表乾比重2.62, F.M.6.91)を使用した。

AI粉末混入コンクリート(以下AIコンクリートと略称する)の所要膨張量1%, 2%及び4%に対し、実際に打設したコンクリートの膨張量はそれぞれ1.39%, 1.84~2.71%及び3.51%であった。

試験供試体の製作は図-2に示すごとく、まず先打ちコンクリートを製作しておき、そのあと後

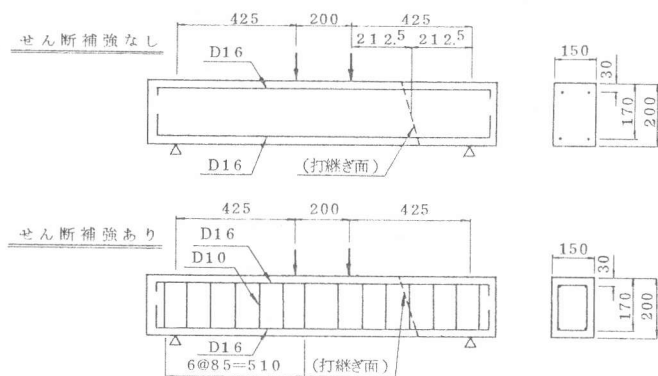


図-1 供試体の配筋状況

打ちコンクリートを打設し、打込み口に所要の錘をのせて $\Delta\ell$ コンクリートの膨張を拘束し作製した。

各供試体の諸要因ならびに試験時のコンクリート強度は表-2の通りである。

2-2 載荷試験

試験は図-3に示す通り集中2点載荷とし、シャースパン比 a/d は2.5とした。また、変位計は図中に示す位置に配置した。ただし一体ものの供試体に関してはDG-6は配置していない。載荷パターンは、0tからひびわれ荷重まで0.2tピッチで載荷し、除荷後鉄筋許容応力度($\sigma_{sa} = 1800 \text{ kg/cm}^2$)時の荷重($P = 4.90 \text{ t}$, $\tau = 11.1 \text{ kg/cm}^2$)まで載荷、再度徐荷し鉄筋降伏応力度($\sigma_{sy} = 3870 \text{ kg/cm}^2$)時の荷重($P = 10.40 \text{ t}$, $\tau = 23.6 \text{ kg/cm}^2$)までの載荷及び除荷を行ない、そのあと破壊まで載荷した。

3. 試験結果及び考察

試験結果をまとめて表-2に示す。また、代表的な $\Delta\ell$ コンクリート供試体の荷重-たわみ曲線を図-4に、荷重と打継面のずれ量との関係を図-5に示す。破壊形態は、せん断補強を有する供試体No.3及びNo.4において、写真-1,2に示すように打継ぎの有無にかかわらず曲げ圧縮破壊を呈した。これに対し、他の供試体は写真-3に代表例を示すように全てせん断破壊であり、供試体No.10の順打ちコンクリートにおいては打継面とは反対側に斜めひびわれが発生し破壊した。供試体No.12においては当初から打継部にすき間が生じ不連続であった。なお、本試験においては急激に荷重が低下した時を破壊荷重とした。

供試体No.1は基準供試体で一体ものである。斜めひびわれ発生荷重は7.50t($\tau = 17.0 \text{ kg/cm}^2$)、破壊荷重は7.98t(18.1 kg/cm^2)であった。また、供試体No.2は $\Delta\ell$ コンクリートによる打継供試体であり、斜めひびわれ発生荷重は4.35t(9.9 kg/cm^2)、破壊荷重は4.90t(11.1 kg/cm^2)であった。 $\Delta\ell$ コンクリートの膨張により打継面を一体化した場合でも、基準供試体No.1に比べ、斜めひびわれ発生荷重、破壊荷重とも6割程度に耐力が低下した。一方、No.10の順打ち供試体においては、斜めひびわれ発生荷重は7.04t(16.0 kg/cm^2)、破壊荷重は7.48t(17.0 kg/cm^2)で基準供試体に比べても9割以上の耐力を有していた。このように、 $\Delta\ell$ コンクリートの膨張により一体化した場合、順打ちに比べ打継ぎ性能はかなり劣っている。ただし、許容せん断応力度 τ_{at} は 4.5 kg/cm^2 であり、 $\Delta\ell$ コンクリートの膨張により一体化した供試体No.2においても、斜めひびわれ発生荷重で2倍以上の耐力を有していた。

供試体No.3は一体ものの基準供試体No.1をせん断補強($P_t = 1.12\%$)したものであり、曲げ圧縮破壊を呈した。

供試体No.4は $\Delta\ell$ コンクリートの膨張により一体化した供試体をせん

表-1 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	細骨材 率 (%)	スランパ の範囲 (%)	空気量 の範囲 (%)	水セメン ト比 (%)	水 次	単 位 量 kg/m^3				
						セメント	大田川 川 砂	木更町 山 砂	相模川 砕 石	混和剤 (C×0.25%)
15	5.0	12±2.5	4±1	6.3	18.5	29.4	62.1	26.6	8.93	0.735

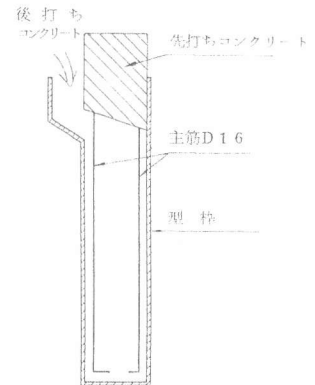


図-2 供試体製作方法

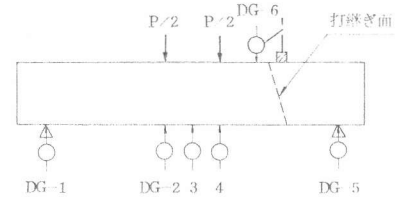


図-3 試験方法

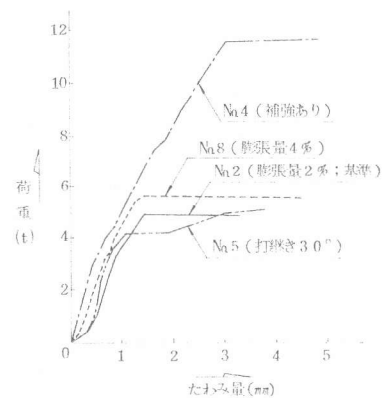


図-4 支点中央における荷重-たわみ曲線

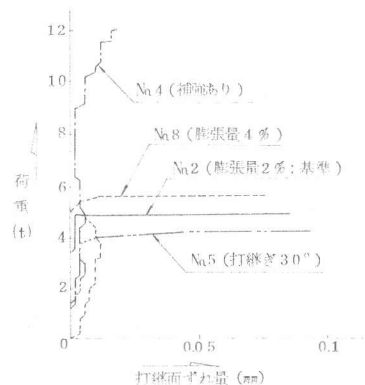


図-5 荷重と打継ぎ面のずれ量との関係

断補強 ($P_f = 1.12\%$) したもので、斜めひびわれ発生荷重は基準供試体 No. 1 と同程度に改善され、破壊荷重は供試体 No. 3 と同程度となり、曲げ圧縮破壊を呈した。

逆打ち工法で施工する場合、せん断抵抗性で問題となるのは打継面における先打ちコンクリートと後打ちコンクリートとのずれ変形に対する抵抗力である。後打ちコンクリートに $A\ell$ 粉末を混入することにより、先打ちコンクリートとの打継面を $A\ell$ コンクリートの膨張圧で一体化し、これによって直角方向のせん断力に抵抗することを期待している。本研究で取り上げた打継角度は 15° と 30° の 2 種類であるが、図-4 及び 5 から明らかなように打継角度 15° を有する供試体 No. 2 と比較して、打継角度 30° の供試体 No. 5 は、早期に打継面のずれが生じ、斜めひびわれ発生荷重が大幅に低下し、破壊荷重も低下した。一方、打継角度が 30° でも載荷方向が逆の供試体 No. 6 では、打継面の耐荷機構が改善され逆に耐力は増加する。このように、打継ぎ角度及び載荷方向が問題となるが、実構造物においては地震時に正負の繰り返しを受けることとなる。そこで、供試体 No. 14 のよ



写真-1 供試体 No. 3 破壊状況



写真-2 供試体 No. 4 破壊状況

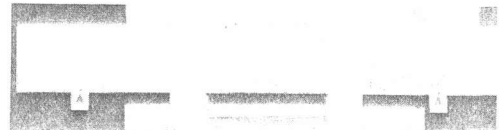


写真-3 供試体 No. 2 破壊状況

表-2 各供試体の諸要因および試験結果

供試体 No.	1度打ち or 2度打ち	スターラップの有無	打継角度	打継面の向き	打継間隔	注1) $A\ell$ コンクリートの膨張量	養生方法	後打ちコンクリート種類	注2) 試験時コンクリート強度		注3) ひびわれ荷重		破壊荷重	供試体概要
									先打ち	後打ち	曲げ	斜め		
1	1度打ち	無	—	—	—	—	湿潤養生	—	245 21.0	—	3.80 ^t	7.50 ^t	7.98 ^t	
2	2 "	"	15°	正	28日	2% (2.12)	"	$A\ell$ コンクリート	311 28.7	286 25.8	4.35	4.35	4.90	
3	1 "	有	—	—	—	—	"	—	241 21.0	—	4.26	8.56	11.76	
4	2 "	"	15°	正	28日	2% (1.99)	"	$A\ell$ コンクリート	300 26.1	335 33.2	4.20	7.52	11.54	
5	2 "	無	30°	"	"	2% (2.12)	"	"	313 29.2	286 25.8	—	1.80	4.18	
6	2 "	"	"	逆	"	2% (2.12)	"	"	316 29.7	286 25.8	4.54	6.65	6.65	
7	2 "	"	15°	正	"	1% (1.39)	"	"	318 30.2	266 25.9	—	4.60	4.90	
8	2 "	"	"	"	"	4% (3.51)	"	"	325 31.7	277 24.1	—	3.28	5.61	
9	2 "	"	"	"	7日	2% (2.10)	"	"	298 27.6	284 31.4	—	4.80	5.02	
10	2 "	"	"	"	28日	—	"	普通コンクリート(順打ち)	325 31.7	336 27.4	6.25	7.04	7.48	
11	2 "	"	"	"	"	2% (2.12)	現場養生	$A\ell$ コンクリート	328 32.2	277 23.9	3.60	4.66	4.66	
12	2 "	"	"	"	"	—	"	膨張材混入 普通コンクリート	330 32.7	322 24.9	—	3.56	3.67	
13	2 "	"	"	"	"	2% (2.71)	"	膨張材混入 $A\ell$ コンクリート	329 31.2	265 27.4	4.06	5.68	5.68	
14	2 "	"	"	" (V型)	"	2% (1.84)	湿潤養生	$A\ell$ コンクリート	329 31.2	272 25.7	3.70	4.84	6.80	

注1) 括弧内の値は $A\ell$ コンクリートの実際の測定結果である。

注2) コンクリート強度の上段は圧縮強度、下段は引張強度である。

注3) ひびわれ荷重は目視による。

うな左右対称のV型打継面を有する場合は検討したが、その結果、斜めひびわれ発生荷重はわずかに高くなった程度であるが、破壊荷重は4割ほど向上した。基準供試体No.1と比較すると8割強の耐力であった。

A ℓ コンクリートの膨張圧を支配するのは、コンクリートの膨張量である。膨張量の増加に伴い、膨張圧も増加する。本試験において膨張量を変化させた供試体、No.2(膨張量2%)、No.7(1%)、No.8(4%)を比較すると、斜めひびわれ発生荷重に関しては膨張量1%と2%がほぼ同等の値を示しているのに対し、膨張量4%の供試体No.8の斜めひびわれ発生荷重が他の2体より低くなっている。図-5からわかるように、斜めひびわれ発生荷重以降打継面のずれ量が減少しており、載荷装置の影響と考えられる。破壊荷重に関しては、1%、2%が同じ値を示し、4%の場合他の2体より若干耐力が増加しているが1割ほどの増加であり、明確な差異は認められなかった。一方、供試体No.12は後打ちコンクリートに膨張材のみを混入したものであるが、当初より先打ちコンクリートと後打ちコンクリートとの間にすき間が生じており、破壊荷重もA ℓ コンクリートの膨張により一体化したものに比べて7割強に低下している。このように、膨張材単独では打継面の一体化は期待できず、A ℓ 粉末を混入することが必要になるが、その量はコンクリートの膨張量に換算して1%程度で良く、これによって打継性能を改善することができる。

供試体No.9は先打ちコンクリート打設後、7日で後打ちコンクリートを打継いたものである。結果は供試体No.2と同等であり、早期にコンクリートを打継いた影響は見受けられなかった。

供試体No.11はA ℓ コンクリート打設後現場養生したものであるが、A ℓ コンクリートの膨張により一体化された打継面は乾燥収縮作用を受けてもすき間を生じず、耐力においても供試体No.2と比べ若干低下しているが、乾燥収縮の影響は明確でなかった。又、No.13はA ℓ コンクリートに膨張材を混入し、コンクリート硬化後の乾燥収縮をも補償した供試体である。A ℓ コンクリートの膨張量が2.71%と高いため、No.11とは直接比較できないが、No.11においてもNo.2と比較してほとんど耐力の低下は認められないことから、本研究においては膨張材混入の効果は明確でなかった。

4. 結論

A ℓ 粉末を使用し直接法により逆打ち施工した供試体について種々の要因を検討した結果、以下の事が明らかとなった。

1) A ℓ コンクリートで一体化した供試体の耐力は、一体ものの基準供試体に比べ6割に低下した。しかしながら斜めひびわれ発生荷重4.35tにおけるコンクリートのせん断応力度は $\tau = 9.9 \text{ kg/cm}^2$ で、 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ の許容せん断応力度 $\tau_{at} = 4.5 \text{ kg/cm}^2$ の2倍以上の値であった。

2) せん断補強筋を配置($P_w = 1.12\%$)することにより、A ℓ コンクリートで一体化した供試体も、一体ものでせん断補強した供試体と同程度の耐力を示し、曲げ圧縮破壊を呈した。

3) 逆打ち工法で施工する場合、地震時に正負の繰返しを受けることを考え、有効な打継ぎ角度ならびに打継ぎ形状を検討する必要がある。

4) 膨張量1%のA ℓ コンクリートを打継ぐことによって、逆打ちコンクリートの打継面を一体化させ、打継ぎ性能を改善できる。又、A ℓ コンクリートは硬化前のブリージング沈下を補償するものであり、硬化後の乾燥収縮を補償するために膨張材を併用したが、A ℓ コンクリートのみでも湿潤養生の場合とほとんど同等の耐力を有しており、膨張材混入の効果は明確でなかった。

5) 早期打継ぎの影響については、明確な差異は認められなかった。

<参考文献>

- 1) 松岡康訓他：A ℓ 粉末の発泡を制御した逆打工法，土木学会第36回年次講演会概要集
- 2) 松岡康訓他：アルミニウム粉末の発泡を制御したブレバッドコンクリートの研究，土木学会第37回年次講演会概要集