

# 論文 スランプ試験方法に用いる突き棒の人力貫入による許容打重ね時間評価方法とその実施工への適用

平川 勝彦<sup>\*1</sup>・渡辺 憲治<sup>\*2</sup>・田中 達司<sup>\*3</sup>・大友 健<sup>\*4</sup>

**要旨:** コールドジョイント防止のため現場で容易に実施できる管理方法の検討を目的として、スランプ試験方法に用いる突き棒の人力による貫入値とプロクター貫入抵抗値の比較を行なった。この結果、突き棒の人力による貫入値はプロクター貫入抵抗値と良い相関があること、突き棒の人力による貫入値は個人差が比較的小さいことを明らかとし、突き棒の人力による貫入での打重ね可否判定の有効性を示した。また突き棒の人力による貫入試験を実際の工事に適用し、この方法の適用性を評価した。

**キーワード:** コールドジョイント、打重ね、突き棒の人力貫入量、プロクター貫入抵抗値

## 1. はじめに

近年、コンクリートの初期欠陥の一つであるコールドジョイントに対する社会的な関心は非常に高い。コールドジョイントの防止は、コンクリート構造物の所要の強度と耐久性を確保することはもちろん、美観のためにも、施工計画の段階から考慮されなければならない。加えて、実際の施工を行なう課程においてもコールドジョイントの発生を防止できる施工管理を行なうことが望まれるものである。

現場で可能なコールドジョイントの評価方法として各種の貫入試験<sup>1)</sup>が提案されている。この中で JISA1101「スランプ試験方法」に用いる突き棒の人力による貫入での評価方法（以下突き棒貫入試験と称す）は、最も簡便な方法であり、かつ「プロクター貫入抵抗値 0.01～1.0N/mm<sup>2</sup> の範囲で検出感度が高いので幅広い範囲での管理に適しているが、技術者の慣れが必要である」と評価されている。

本研究では、この突き棒貫入試験を実際の大規模コンクリート工事（大型ニューマチックケーソン躯体）の施工計画および品質管理に適用することを目的として、現場で行える簡易な試

料サンプリング方法をとった場合の突き棒貫入量とプロクター貫入抵抗値との適合性と、測定者の差による突き棒貫入量のばらつき、および突き棒貫入量に及ぼすセメント・混和剤の影響を室内実験により評価した。さらにこの方法を用いて実際の構造物におけるコールドジョイントの防止管理を行なった結果を報告する。

## 2. 使用したコンクリートの性質

### 2.1 配合および使用材料

室内実験に使用したコンクリートの配合と材料を表-1 に示す。高炉セメント B 種（以下、高炉 B 種：BB と称す）と低熱ポルトランドセメント（以下、低熱ポルト：LP と称す）について各々 AE 減水剤標準形（AEN）と遅延形（AER）とを組み合わせた 4 配合について検討した。

実際の工事を想定して、練上がりから 30 分後にスランプが 8cm 程度、空気量が 4.5%程度になるように配合を調整した。ここで、AE 減水剤は標準使用量とした。

ブリーディング率および凝結時間の測定は、現場でコンクリートを打込み終わった状態からの変化を考慮して、練上がりから 60 分後から

\*1 大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 土木材工研究室 研究員 (正会員)

\*2 国土交通省 中部地方整備局 静岡国土工事事務所 工務課長

\*3 大成・戸田特定建設工事共同企業体 静岡駅前地下駐車場作業所 課長

\*4 大成建設(株) 技術センター 土木技術研究所 土木材工研究室 主任研究員 博士 (学術) (正会員)

表-1 コンクリートの仕様と配合

設計基準強度		24N/mm <sup>2</sup>							
粗骨材の最大寸法		25mm							
スランプの範囲		8±2.5cm							
空気量の範囲		4.5±1.5%							
配合種別	セメント種類	AE減水剤種類	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤
BB-AEN	高炉B種	標準形	52.0	41.0	151	290	765	1108	0.725
BB-AER	B種	遅延形							
LP-AEN	低熱	標準形	55.0	43.4	157	286	810	1063	0.715
LP-AER		遅延形							
セメント		高炉セメントB種(T社製) 密度 3.04(g/cm <sup>3</sup> )							
粗骨材		低熱ポルトランドセメント(T社製) 密度 3.22(g/cm <sup>3</sup> )							
細骨材		川砂利(富士川水系中流産) 密度 2.65(g/cm <sup>3</sup> )							
AE減水剤		(標準形) リグニンスルホン酸化合物および ポリオール複合体(P社製)							
		(遅延形) リグニンスルホン酸化合物(P社製)							

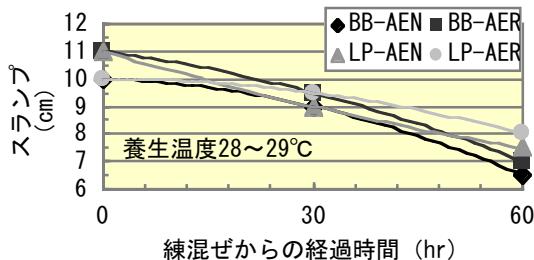


図-1 スランプの経時変化

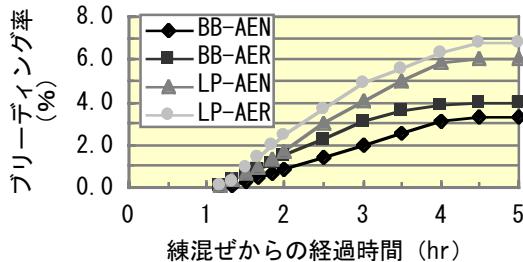


図-2 ブリーディング率の測定結果

測定を開始した。また、工事を夏場に予定していたことから、温水を用いて練上がりのコンクリート温度を25°C程度まで高め、実験室内の雰囲気温度は28°C程度になるようにした。

練上がりから60分後までのスランプの経時変化を図-1に、また、ブリーディング率の測定結果を図-2に示す。低熱ポルトを使用した配合が高炉B種を使用した配合よりブリーディング率が大きい。これはセメントの種類の差だけではなく、低熱ポルトを使用した配合の単位水量が大きいことも影響していると考えられる。ま

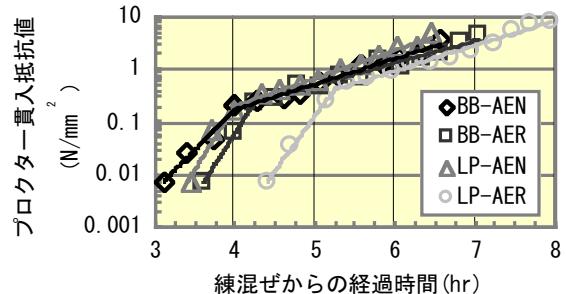


図-3 プロクター貫入抵抗値の経時変化

表-2 コールドジョイントの判定の目安となるプロクター貫入抵抗値となる時間

配合種別	プロクター貫入抵抗値			
	0.01(N/mm <sup>2</sup> )	0.1(N/mm <sup>2</sup> )	0.5(N/mm <sup>2</sup> )	1.0(N/mm <sup>2</sup> )
BB-AEN	3.2(hr)	3.8(hr)	4.9(hr)	5.5(hr)
BB-AER	3.7(hr)	4.1(hr)	4.7(hr)	5.7(hr)
LP-AEN	3.5(hr)	3.8(hr)	4.8(hr)	5.3(hr)
LP-AER	4.5(hr)	4.9(hr)	5.3(hr)	6.0(hr)

た、AE減水剤標準形に比べ AE減水剤遅延形を使用したもののはブリーディング率が大きい。これは一般的な傾向であると考えられる。

## 2.2 プロクター貫入抵抗試験の結果

各配合におけるプロクター貫入抵抗値の経時変化を図-3に、コールドジョイントの判定の目安となるプロクター貫入抵抗値の時間を見表-2に示す。貫入抵抗値が0.01N/mm<sup>2</sup>となる時間で比較すると、高炉B種とAE減水剤標準形の組合せが3.2時間程度であるのに対して、低熱ポルトと標準形との組合せはこれより0.3時間遅れている。高炉B種と遅延形との組合せも標準形との組合せより0.5時間遅れており AE減水剤の種類の差が表れている。低熱ポルトと遅延形の組合せはセメントの相違と AE減水剤の種類の差による相乗効果で高炉B種と標準形の組合せに対して1.3時間の遅延を示した。

このような配合による凝結特性の差は、プロクター貫入抵抗値が0.2~0.4N/mm<sup>2</sup>以下の範囲では大きいが、貫入抵抗値が0.4N/mm<sup>2</sup>以上になるとその差が小さくなり、貫入抵抗値が1.0N/mm<sup>2</sup>の時には配合間での貫入抵抗値の差が0.5時間まで小さくなる傾向があった。

コンクリートのコールドジョイント問題小委員会の報告書<sup>1)</sup>では、貫入抵抗値が  $0.01 \sim 1.0 \text{N/mm}^2$  の間でコールドジョイントが発生するとしており、非常に幅のある値となっている。一方、建築仕様書 JASS5<sup>2)</sup>では、一般的な場合は  $0.5 \text{N/mm}^2$  を、打放しなど重要な部材でも  $0.1 \text{N/mm}^2$  を目安とし、具体的な管理目標値を示している。本構造物は、締固めを確実に実施することが可能な一般的な構造物であることからコールドジョイントの発生の判定を行なう貫入抵抗値の目安を  $0.5 \text{N/mm}^2$  と設定した。

### 3. 突き棒貫入試験

#### 3.1 突き棒貫入試験の方法

練上がりから 60 分経過したコンクリートを練り船（寸法  $120 \times 75 \times$  高さ  $20\text{cm}$ ）内に高さが約  $12\text{cm}$  になる様に平らに盛り静置した。

実際の施工現場において、コールドジョイントを防止するための管理方法としては、型枠内に打込んだコンクリート層の上面に突き棒を貫入して打重ね許容状態を判断することが望ましいが、型枠および鉄筋が設置されている型枠内部で測定者が突き棒を貫入させることは、実質的には困難であると考えられる。そのためここでは、作業時に打込むコンクリートの一部をサンプリングし容器に入れて、この表面に対して突き棒を貫入する方法が容易でかつ現実的であると考え、これを想定した測定方法とした。

試料表面の乾燥を防ぐため試験時以外は濡れた布で練り船上面を覆い、練上がりから 2 時間経過した時点から 30 分おきに突き棒貫入量を測定した。練り舟外周縁から  $10\text{cm}$  以上距離を取り、かつ前の貫入で乱された部分からある程度距離を取って、突き棒を貫入させた。人力によって貫入するので個人によって貫入量に差異が生じることが考えられたため、試験者を 4 人とし、各自の判断によって両手で力強く貫入することとした。表-3 に試験者の属性を示す。

#### 3.2 突き棒貫入試験の結果

図-4 には配合ごとの突き棒貫入量の経時変化

表-3 試験者の属性

試験者		経験年数 (年)	体重 (kg)
A	現場の専門技術者	18	60
B	研究所の主任研究員	17	80
C	プラントの管理技術員	7	90
D	現場の工事担当者	2	60

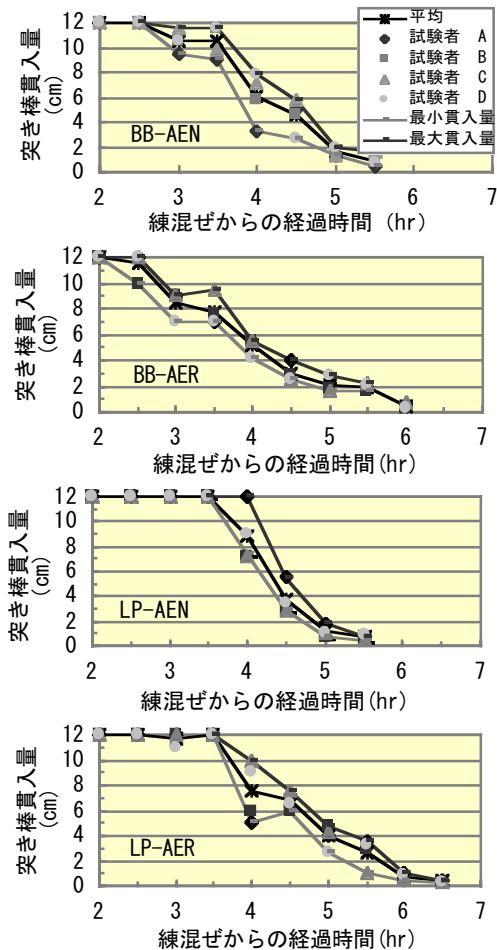


図-4 突き棒貫入量の経時変化

を示す。この図には各試験者の測定値と、その平均値および最大値と最小値を示した。突き棒貫入量が  $4 \sim 10\text{cm}$  の範囲では試験者による最大値と最小値の差が  $5\text{cm}$  程度となる場合もあり試験者による差が大きいようにもみえる。しかし一定の貫入量条件での時間差としてみれば、最大値と最小値の差はおおむね  $0.5$  時間程度以内となっている。突き棒貫入量が  $4\text{cm}$  以下となる時間から以後は試験者間での貫入量の最大値と最小値の差は小さくなる傾向にある。

試験者間での相違を明確にするため、図-5 には、試験者全員の突き棒貫入量の平均値からの

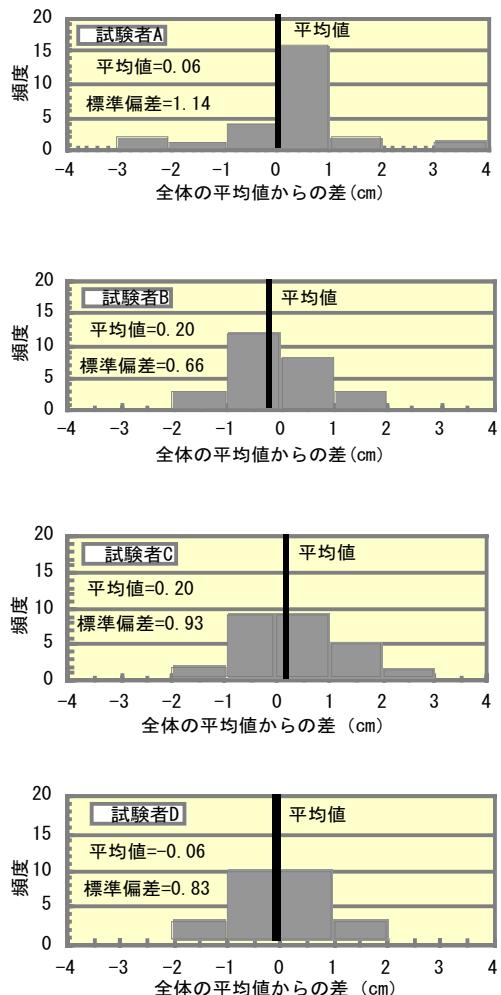


図-5 各試験者の突き棒貫入量の試験者全員の平均値からの差の分布

差の分布を試験者ごとに示した。試験者全員の平均値と各試験者の平均値の差は最大でも0.2cmと十分小さく、試験者間での差はほとんどないことが確認された。

図-6には、試験者全員の突き棒貫入量の平均値の経時変化を示す。高炉B種とAE減水剤標準形の組合せでは、練混ぜから3時間程度まで12cm以上の貫入量を示した後5時間までに大きく貫入量が低下し5.5時間以上ではほとんど貫入しない傾向を示した。これをAE減水剤遅延形にした場合もあまり傾向は変わらない。

高炉B種と低熱ポルトの比較においては、AE減水剤標準形の場合には3~4.5時間で低熱ポルトの突き棒貫入量が大きくなるものの、4.5時間以降では高炉B種とほとんど同等な貫入量と

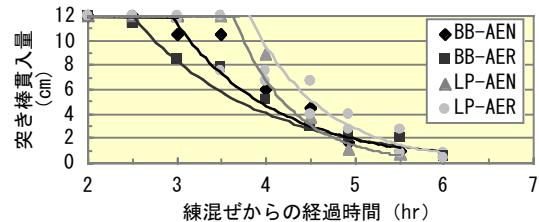


図-6 各配合の突き棒貫入量の経時変化の相異

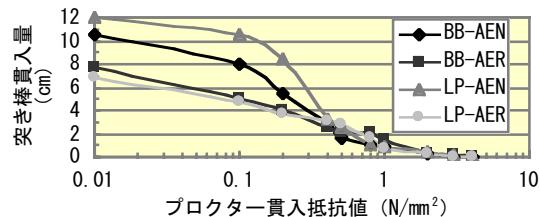


図-7 プロクター貫入抵抗値と突き棒貫入量の関係

なった。これに対して、低熱ポルトとAE減水剤遅延形を組合せた場合には、練上がりから3時間以降突き棒の貫入量が大きく、他の配合と比較して、一定の貫入量となる時間が1時間程度遅れる傾向であった。

セメントの種類によっては、突き棒貫入量の経時変化にある程度の相違が認められたものの、AE減水剤については、標準形を遅延形にしたからといって、必ずしも突き棒の貫入量が大きくなるものではないことが確認された。

#### 4. プロクター貫入抵抗値と突き棒貫入量の関係

図-7にプロクター貫入抵抗値と突き棒の貫入量の関係を示す。プロクター貫入抵抗値と突き棒の貫入量とは配合ごとに一定の相関を示しているが、その曲線形状はプロクター貫入抵抗値が0.01~0.4N/mm<sup>2</sup>の範囲（突き棒の貫入量で3~12cmの範囲）では配合により異なっている。高炉B種とAE減水剤標準形の組合せ、低熱ポルトとAE減水剤標準形の組合せは、各々高炉B種と遅延形、低熱ポルトと遅延形の組合せと比較して、同じプロクター貫入量であればより大きな突き棒貫入量を示すものであった。一方、セメントの種類の相異については一定の

関係がない。本実験の範囲ではこの原因については明らかとはならなかった。

今回の実験による知見から、「突き棒の人力による貫入試験はプロクター貫入抵抗値  $0.01\sim1.0N/mm^2$  程度の広い範囲においてプロクター貫入抵抗を良く表現できる」という委員会報告書の記述は、ある配合のコンクリートについて、という限定された条件下で成り立つものと考えられる。したがって、コールドジョイントの判定を行なうプロクター貫入抵抗値を  $0.01N/mm^2$  あるいは  $0.1N/mm^2$  とした場合には、配合ごとに異なる突き棒貫入量を設定する必要がある。コールドジョイントの判定を行なうプロクター貫入抵抗値を  $0.5N/mm^2$  と設定した場合には、セメントあるいは混和剤の種類による相異は認められなくなるので、この時の突き棒貫入量は配合によらず約 2cm と判断することができる。

## 5. 実施工への適用

### 5.1 施工条件

実施工の対象としたニューマチックケーソン躯体の構造概要および打設ロット割りを図-8 に示す。底版は厚さ 1.8m を複数ブロックに分けて 3 回で打設した。壁部は厚さが 1.2~1.8m であり、1 ロット当りの打上げ高さ約 3.3m を 3 回で打設した。1 回の打設 1 層の厚さはおおむね 0.5m である。底版とスラブは高炉 B 種配合により、壁部は低熱ポルト配合により施工した。5~6 月、9 月の施工には AE 減水剤標準形を、7 月の施工には AE 減水剤遅延形を使用した。

室内実験の結果から、コールドジョイントの判定を行なう時間を突き棒貫入量が 2cm となる時間と設定したため、実施工では、製造してから次の層のコンクリートが打ち込まれるまでの時間を打重ね時間として、これに対して施工上の許容値を定めた。ここで、5~6 月、9 月の施工となる BB-AEN、LP-AEN については打重ね許容時間を室内実験の結果と同じ 5 時間と設定したが、LP-ANR については、この配合での施工が盛夏と

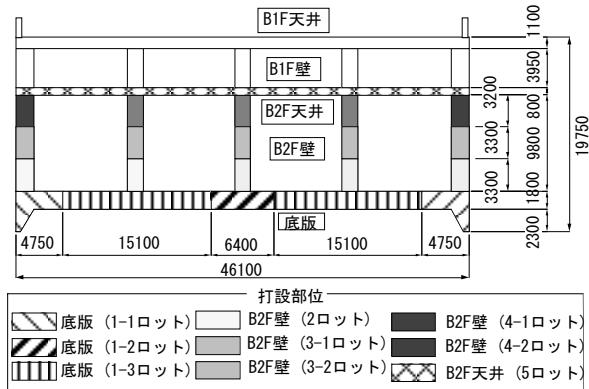


図-8 躯体断面図および打設ロット割り

なり室内実験の条件よりも高い気温となることが予想されたため、室内実験結果の 5.5 時間を 1 時間短縮した 4.5 時間を打重ね許容時間として設定し施工を行なった。

## 5.2 施工結果

各ロットの施工管理結果を表-4 に示す。打重ね時間間隔の最大値は 1.5~3.7 時間の範囲でありコンクリートを製造してから 2.9~4.9 時間以内に打重ねていた。各ロットにおける打重ね時の突き棒貫入量の平均値は 6.2~9.8cm であり突き棒貫入量の最小値は 3cm 以上を確保していた。

図-9 に打込み温度ごとの突き棒貫入量の経時変化を示す。高炉 B 種配合では、突き棒貫入量が 2cm となる練上りからの経過時間は打込み温度  $16^\circ\text{C}$  の時で約 5.5 時間、 $28^\circ\text{C}$  の時で約 4.5 時間であり、コンクリート温度が上昇するにつれて実質の打重ね許容時間が早くなっている傾向が明らかである。低熱ポルト配合については、打込み温度  $32^\circ\text{C}$  で AE 減水剤遅延形を使用した

表-4 施工管理結果

打設部	配合種別 呼び名 (AE 減水剤種類)	ロット	施工日	コンクリート温度 (°C)	最大生 コンクリート 搬時間		打重ね時 間間隔		打重ね 時間		突き棒貫 入量	
					最大	平均	最大	平均	最大	平均	最小	平均
底版	24-8-25-BB (標準)	1-1	5月2日	19~20	1.3	3.1	2.2	4.4	3.5	6.0	8.7	
		1-2	5月9日	22~26	1.5	3.0	2.3	4.5	3.8	4.0	6.2	
		1-3	5月11日	22~26	1.0	2.3	1.7	3.3	2.7	8.0	9.8	
B2F 壁	24-8-25-L (標準)	2	6月21日	24	1.2	3.7	3.6	4.9	4.5	4.0	4.7	
		3-1	7月20日	29~30	1.5	1.5	1.0	2.9	1.8	8.0	9.6	
	24-8-25-L (遅延)	3-2	7月24日	31~32	1.1	3.7	2.9	4.4	3.7	3.0	4.7	
		4-1	9月17日	28	1.1	3.5	1.7	4.3	2.3	3.0	8.1	
B2F 天井	24-8-25-BB (標準)	4-2	9月19日	28	1.2	3.5	2.7	3.8	2.3	3.0	6.7	
		5	9月21日	27~28	1.2	3.3	2.7	4.5	3.4	3.0	7.0	

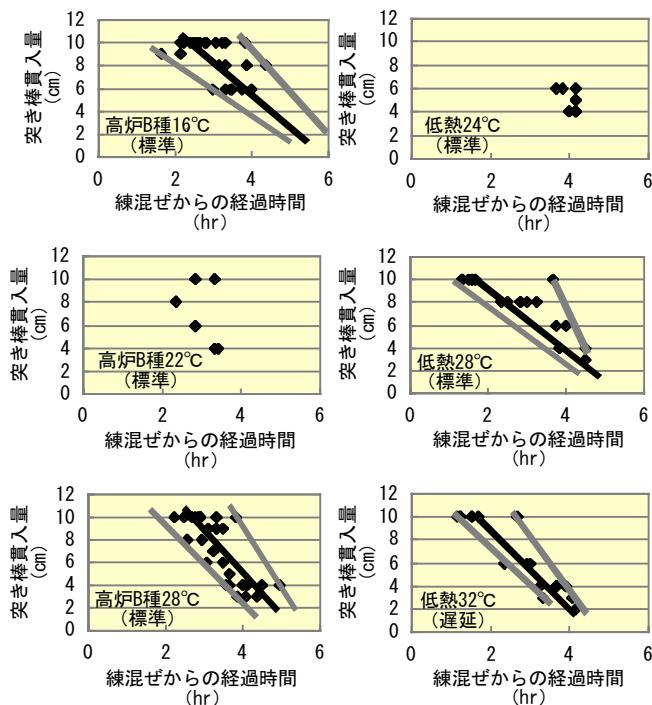


図-9 セメントの種類・コンクリート温度ごとの突き棒貫入量の経時変化

場合でも、標準形の 28°C の場合と比較して、突き棒貫入量が 2cm となる時間が促進されており、打込み温度の上昇が打重ね許容時間に及ぼす影響が大きいと推察される結果であった。

打込み温度 28°C の場合、BB-AEN と LP-AEN の経時変化の傾向はほぼ同じで突き棒貫入量が 10cm の時が 2.5 時間程度、2cm の時が 4.5 時間程度となり、室内実験より 0.5 時間程度早かった。また、一定の突き棒貫入量となる時間のばらつきは ±0.5~1.0 時間程度の範囲であることが認められた。実施工での品質の確保を確実とするためには、このばらつき分の余裕を持たせた施工計画が必要であることが明らかとなった。

本施工の結果、コンクリート躯体にはコールドジョイントの発生はみられなかったので、今回プロクター貫入抵抗値 0.5N/mm<sup>2</sup> に相当する突き棒貫入量 2cm を管理値として設定したことは妥当であったものと考えられる。また、本施工では足場が狭く、配管の切替えしに時間がかかることで、打重ね時間間隔が大きくなると予想された壁部 2~4 ロットについては打込みから 1 時間後にもう一度内部振動機をかけてコン

クリートを再流動化させて打重ねた。このことでもコールドジョイントが発生しなかつたことに影響していると考えられた。

## 6. まとめ

実際の現場でのコールドジョイントの防止を目的として、突き棒の人力による貫入での許容打重ね時間の評価方法に関する室内実験を行ない、この方法を適用して施工をおこなった結果以下のことが明らかとなった。

- 1) 突き棒の人力による貫入量の試験者による差異はほとんど認められない。
- 2) 固有の配合に対して、プロクター貫入抵抗値と突き棒の貫入量との間には、プロクター貫入抵抗値が 0.01~1.0N/mm<sup>2</sup> の範囲で、一定の関係がある。配合が異なった場合には、0.01~0.4N/mm<sup>2</sup> の範囲では、プロクター貫入抵抗値と突き棒貫入量の関係が異なつてくるので、事前にこの関係を確認しておくことが必要である。
- 3) 配合の差異に関わらず、プロクター貫入抵抗値 0.5N/mm<sup>2</sup> となる突き棒貫入量は約 2cm に相当する。
- 4) 実際の施工において、突き棒の人力貫入による打重ね許容時間を適用することで、コールドジョイントの防止をはかることができる。ただし、打重ね許容時間は温度に依存して変化すること、突き棒による判定法には ±0.5~1.0 時間のばらつきがあることから施工計画にあたってはこれらを考慮する必要がある。

## 謝辞

室内実験の実施にあたっては（有）東海建材工業、（株）ポジリス物産の皆様に御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策、2000.7
- 2) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事、1997.3