

論文

[1064] 部材表面部コンクリートの密実さに及ぼす影響要因

正会員○曾根真理（長崎県庁土木部）

正会員 國島正彦（東京大学工学部）

1 はじめに

近年コンクリート構造物の耐久性能の低下が問題となっている。コンクリート構造物の主な劣化原因の一つとして鋼材の腐食が挙げられる。コンクリート中の鋼材が腐食反応を起こすためには、水と水酸化物もしくは塩化物が構造物の外から供給されることが必要であるとされている。

本研究は、鋼材の腐食にとって有害な、水と塩化物・水酸化物等の物質の鉄筋への到達し易さを、コンクリート中の水分の移動し易さによって評価しようとした。水分の移動し易さを測定するために真空乾燥法を用い、コンクリート部材表面部に着目して、表面からの距離（深さ）による水分の移動し易さの特性を実験的に調べた。また流動性と材料分離抵抗性の大きいハイパフォーマンスコンクリートについても同様の実験を行ないその特性を調べた。

2 真空乾燥法

2.1 試験方法

水分の移動し易さ、即ちある時間内での水分移動量を測定する真空乾燥法<sup>1)</sup>の装置は、図-1に示すようであり、真空用デシケーターに真空ポンプを接続したものである。水分移動量は、供試体をデシケーター中で乾燥し、乾燥前の重量と乾燥後の重量の差を水分移動面の面積で除したものとした。乾燥時におけるデシケーター中の気圧は約10mmHg、温度は約21℃である。デシケーターは直径36cm、容量約20ℓ、真空ポンプは真空度0.1Pa、回転数450r.p.m、排気速度50ℓ/minのものを用いた。

乾燥前の重量は、4日以上水中に浸しておいた供試体を水から取り出し、表面の水を拭き取らずに約20秒間空中に曝した後、供試体表面の空隙に水が含まれている状態で電子天秤により測定した。乾燥は、乾燥前重量測定後直ちにデシケーター中に供試体を設置し真空ポンプによって12時間デシケーター中の気圧を減圧状態にすることによって行なった。乾燥後の重量は、乾燥した供試体をデシケーターから取り出し直ちに測定した。

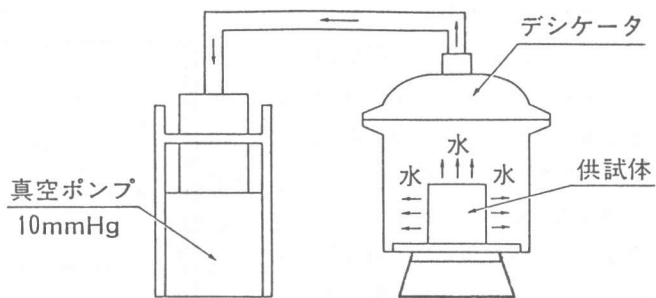
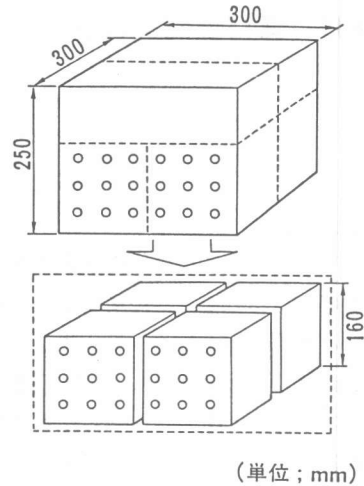


図-1 試験装置

## 2. 2 水分移動が生じる範囲

供試体寸法を図-2に示す。供試体表面からそれぞれ約5mm・約7mm・約11mm・約12mm・約18mmの厚さに切った供試体について、水分の移動量と時間との関係を測定した結果を図-3、図-4に示す。図-3から乾燥時間が24時間程度以内の場合、供試体の厚さの違いによる影響はほとんど現れないことがわかる。それに対して図-4から2日以上経過した後は、供試体厚さの違いによる影響を受けることがわかる。これらのことから12時間程度真空乾燥を行なう場合には、表面から5mm程度以内の範囲内の水分移動の特性のデータが得られるものと考えた。



(単位 ; mm)

図-2 供試体寸法

## 2. 3 他の試験方法との比較

### (1) 乾燥炉にいれた場合との比較

厚さが5~18mmの供試体について、2.2の真空乾燥法による測定を行った後、乾燥炉による乾燥を行った。乾燥炉による乾燥は、水中に10日間程度浸した後、約110℃中の乾燥炉に48時間入れて行なった。乾燥炉に48時間入れた場合の水分移動量と、真空乾燥法によって約1カ月半乾燥した場合の水分移動量との比較を表-1に示す。図-4より1カ月半程度経過した場合には、厚さ5mmの供試体は水分移動が終了した状態と思われるが、表-1から、真空乾燥法によって生じる1カ月半の水分移動量より、48時間の乾燥炉によって生じる水分移動量の方が多いためであると考えた。

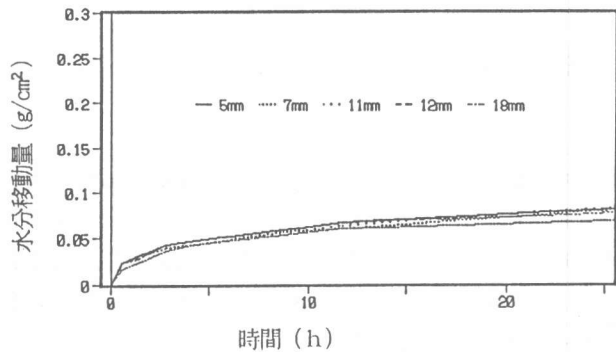


図-3 供試体厚さの与える影響 (24時間)

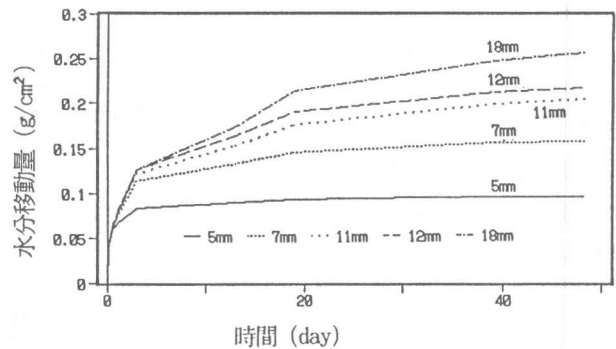


図-4 供試体厚さの与える影響 (50日間)

表-1 乾燥炉にいれた場合との比較 (g/cm<sup>2</sup>)

供試体厚さ	5mm	7mm	11mm	12mm	18mm
真空乾燥	.096	.161	.204	.217	.227
乾燥炉	.117	.142	.302	.307	.367

## (2) 減圧を行わない場合との比較

デシケーター中に供試体を入れずに実験室内で24時間乾燥を行なった場合の水分移動量と、真空乾燥法によって12時間乾燥した場合の水分移動量とを表-2に示す。また同一の供試体について、減圧を行わない場合の測定値と真空乾燥法による測定値を、異なった時期にそれぞれ3回行なった場合の結果を表-3に示す。表-2から減圧を行わずに乾燥を行なった場合でも、真空乾燥法による場合と同様の結果が得られる可能性があることが示唆された。しかし表-3から減圧を行わない場合の測定値は、真空乾燥法に比べてバラツキが大きいことがわかる。この理由は減圧を行わない場合の測定値は、温度や湿度等の気象要因による影響を、真空乾燥法による測定値よりも受けやすいためであると考えた。そこで真空乾燥法を用いた方が、異なった時期に測定した値を比較する事が容易であると思われる。

表-2 減圧を行わない場合との比較① (g/cm<sup>2</sup>)

供試体番号	1	2	3	4
真空乾燥	.167	.150	.190	.136
減圧を行わず	.163	.152	.187	.130

注) 供試体番号は便宜上のものである

表-3 減圧を行わない場合との比較② (g/cm<sup>2</sup>)

測定番号	1	2	3
真空乾燥	.167	.160	.172
減圧を行わず	.163	.141	.032

注) 測定番号は何回目の測定であることを示す

## 2.4 測定値の有意性

同じ配合・同じ方法で同時に作成した直径10cm・高さ20cmのシリンダー供試体10体について、真空乾燥法を用いて水分移動量の測定を行なった。その結果を表-4に示す。表-4より測定値は10%程度以内の範囲に収まることがわかる。このことから測定値が10%程度以上の違いを持てば、その差は有意であるとした。

表-4 測定値の有意性 (g/cm<sup>2</sup>)

番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
移動量	.079	.080	.081	.084	.082	.075	.083	.084	.076	.082

## 3 供試体

### 3.1 供試体の作成

本研究では、図-5に示すようにプレストレストコンクリートT桁橋の下フランジ部分に相当する部分の実物大の供試体を作成した。この供試体は、棒状バイブレーターの挿入を部材底面まで行なうことが困難であり、下フランジ部分に比べてウェブ部分の幅が狭いことに加えて補強鉄筋及びシースが複雑に交錯しているためコンクリートが部材の隅々まで行きわたりにくいものである。型枠はコンクリートの充填状況を外から観察できるように、底面に木製型枠を使用した以外は透明なアクリル板を使用した。

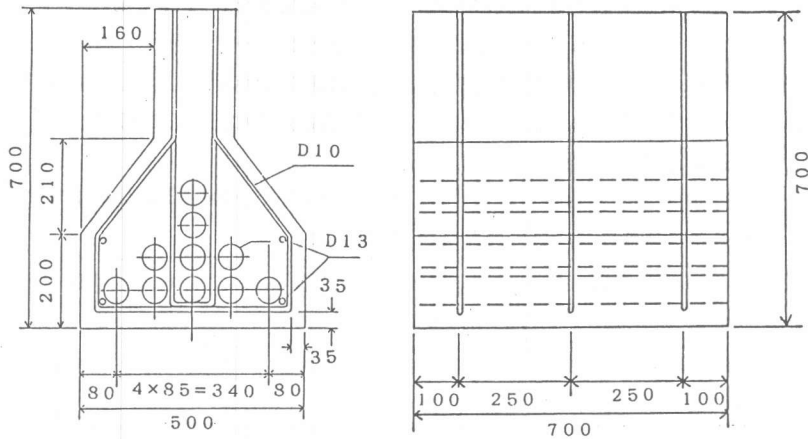


図-5 供試体の形状・寸法 (単位: mm)

使用したコンクリートの配合は表-5に示す普通コンクリートおよびハイパフォーマンスコンクリート<sup>2)3)</sup> (以下H. P. C.) の2種類である。普通コンクリートは流動化剤を加え、一般に土木分野で使用されるスランプ8 cm~12 cmより流動性の大きいスランプ15 cmとした。H. P. C. は通常のスランプ測定方法で25 cm~27 cm程度、スランプフローによる測定では60 cm程度と高い流動性を持ち、材料分離抵抗性も大きいコンクリートである。

締固め方法は普通コンクリートの場合、棒状バイブレータを使用してコンクリートがアクリル盤を通した外からの観察によって隅々に行き渡るまで行なった。H. P. C. の場合は全く締固め作業は行なわなかった。

表-5 コンクリートの配合

H. P. C. (ハイパフォーマンスコンクリート)

水	セメント O.P.C	スラグ	フライ アッシュ	細骨材 川砂	粗骨材 碎石	混和剤	スランプ フロー(cm)	空気量 (%)
159	155	171	202	760	874	注2)	57	2.0

注1) スラグはブレン値5400 (cm<sup>2</sup>/g)

注2) 混和剤は高性能AE減水剤 5544cc セルローズ系増粘剤 20g

注3) 粗骨材最大寸法 20mm

普通コンクリート

水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤	流動化剤	スランプ	空気量
163	386	773	994	0.965	—	15	4.0

注1) 流動化剤はスランプが15 cmになるまで後添加した

### 3.2 供試体の養生及び分割

供試体は、打設後約3カ月間型枠をつけたままの状態屋外に放置した。部材表面と表面付近かぶりコンクリートとの特性を比較することを目的として図-6に示すように供試体をコンクリートカッターで部材のウェブ側面・ハンチ斜め上側面・下フランジ側面・下フランジ底面について

て、それぞれ表面から約2 cmの深さまでの厚さに切断し、50 cm×30 cm×2 cm程度の板状の供試体を作成した。さらに約1カ月経過した後、デシケーターに入れるために20 cm×15 cm×2 cm程度に成形し、約1カ月間水中に浸した。そして水中から取り出した後、測定を行なおうとする面以外の全ての面を図-7に示すように、エポキシ樹脂塗料でシールを行なった。シール剤が硬化した後4日間水中に浸した上で真空乾燥法により測定を行った。

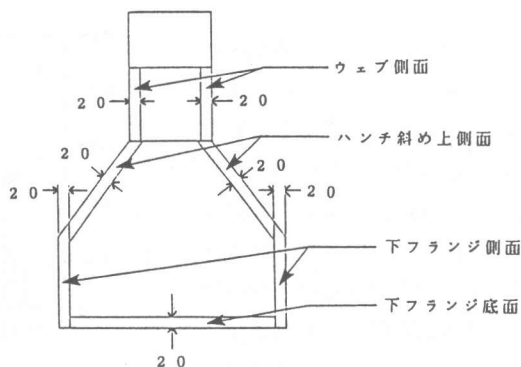


図-6 供試体の分割 (単位: mm)

### 3.3 硬化後の供試体の観察結果

#### (1) 普通コンクリート

- ①ウェブ側面：打ち込み面から近く締め固めが十分であったため、滑らかな表面で気泡等もほとんど存在しなかった。
- ②ハンチ斜め上側面：気泡及びブリージング水が上昇した跡等が数多くみられる。
- ③下フランジ側面：側面と底面が交わる角の部分にごく僅かながらコンクリートの充填されていない箇所があり、他に底面と底面から約10 cm程度との間の部分が白く変色している。
- ④下フランジ底面：全体の約10%程度の面積が白く変色している。
- ⑤かぶり内部の切断面：それぞれの部位で、色・気泡の分布・粗骨材とモルタルの比率等について目視によって特に違いは認められなかった。

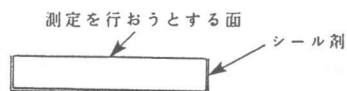


図-7 シール方法

#### (2) H. P. C.

- ①ウェブ側面：普通コンクリートに比べ更に滑らかで、気泡等の跡はほとんど存在しなかった。
- ②ハンチ斜め上側面：若干気泡の跡がみられるが普通コンクリートに比べると3分の1以下である。またブリージングの跡は存在しなかった。
- ③下フランジ側面：部材の角の部分にもよくコンクリートが充填されている。また底面から3 cm程度の範囲が僅かに白く変色しているが、変色した面積は普通コンクリートに比べて少ない。
- ④下フランジ底面：変色している箇所は存在しなかった。
- ⑤かぶり内部の切断面：普通コンクリートの場合と同様に、部材位置による違いは存在せず、均一であると認められた。

## 4 測定結果

水分移動量の測定結果は図-8に示すとおりである。普通コンクリートのウェブかぶり部分供試体は製作に失敗したのでデータがない。普通コンクリートのハンチ斜め上側表面の水分移動量が多いのは、気泡やブリージング水等が残留して密実でなくなることの影響と考えられる。しかし部材表面から2 cm程度内側のかぶりコンクリート部分では、各部位での水分移動量はほぼ同様

となった。

H. P. C. の水分移動量は普通コンクリートの場合と比べてハンチ斜め上側表面を含めて部位による差が少ない特徴がある。ウェブ部分の水分移動量は他の部位に比べて多く、ブリージングの影響や粗骨材の分布性状などの影響が考えられるが、明確な原因は本実験からは得られなかった。

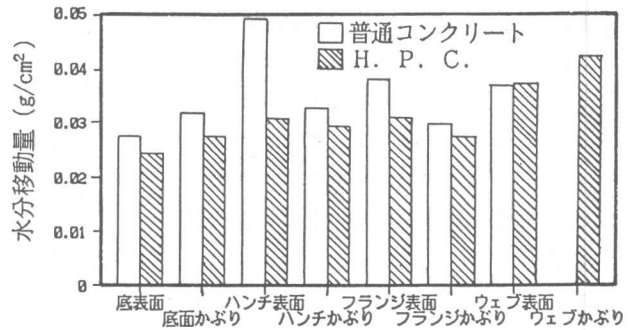


図-8 測定結果

普通コンクリートおよびH. P. C. ともに、部材底部付近の水分移動量は他の部位に比べて幾分小さくなった。

## 5 まとめ

本研究は、コンクリート部材表面部付近の密実さを水分の移動し易さに着目し、真空乾燥法を用いて測定した。鋼材の配置が錯綜し、部材断面形状が複雑でコンクリートが行きわたりにくいと考えられるプレストレストコンクリートT桁橋下フランジ部分の実物大供試体を用いた実験結果から、以下に示すことがいえるものと思われる。

- ①下フランジハンチ上側表面のように、ブリージング水や気泡が残留するおそれのある部分を有する断面形状の部材では、普通コンクリートを、棒状バイブレータを用いて著しい空隙やジャンカがないように締め固めても、表面の密実さは他の部位より相当に小さくなる。
- ②著しい空隙やジャンカがないように締め固められた部材では、表面から2 cm程度内部のかぶりコンクリート部分の密実さは、部材の部位によって大差がない。したがって、部材の隅々までコンクリートを詰めることは当然のことながら極めて重要である。
- ③試作したハイパフォーマンスコンクリートは、締め固め作業を全く行なわなかったにもかかわらず、部材表面部付近の密実さは普通コンクリートと大差がなくむしろ良好な結果となった。したがって、コンクリートの行きわたりが困難と思われる設計詳細を補償して、密実で耐久性の優れたコンクリート構造物を実現できる可能性のある有望な材料と考えられる。

## 【参考文献】

- 1) 山中克夫、小澤一雅、國島正彦：コンクリート構造物の耐久性能の定量的評価、コンクリート工学年次論文報告集 11-1 1989
- 2) 岡村甫、國島正彦、前川宏一、小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリートへの挑戦、土木施工1989 No. 10 Vol. 30
- 3) 岡村甫、國島正彦、前川宏一、小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート（コンクリート構造物の信頼性向上を目指して 第249回コンクリート講演会テキスト 1990年2月