

RCDコンクリートのグリーンカット実施時期

馬場道隆* 堺孝司**

1. まえがき

コンクリートダムの施工における打継目処理は、ダムの品質を確保する上で重要な工程のひとつである。コンクリートを打継ぐ場合には、既設コンクリートとの密着性を高めるためにグリーンカットと呼ばれる前処理が行われる。グリーンカットは、実施時期が早すぎるとコンクリートを傷め、また遅過ぎると必要な表面処理を十分に行うことができないので、適切な時期に行う必要がある。最適なグリーンカット実施時期は養生温度により異なり、特に寒冷期ではセメントの凝結が遅延するため、夏期に比べて相当に長くなる。RCDコンクリートにおけるグリーンカット実施時期は、RCD工法技術指針(案)¹⁾に目安が示されているが、養生温度が異なる場合についての詳細は示されていない。このため実施工においては、グリーンカットの実施時期を予測するために、積算温度を用いたり、事前に低温養生を行った供試体の圧縮強度試験を行い、この結果を目安にしている。しかし、いずれの方法も実施工における養生条件が室内試験の場合と必ずしも一致しないため、適切なグリーンカット実施時期を求めることはむずかしいようである。このため、グリーンカットの実施時期は、ほとんどの場合が現場責任者の経験と判断に任せられているのが実状である。

図-1は、実施工において記録されたコンクリート養生温度とグリーンカット実施時間の関係を示したものである。ここで、コンクリート養生温度は、現場で1時間ごとに測定した温度の平均値である。グリーンカット実施時間は、コンクリート打設後からグリーンカット開始までの時間である。この図が示すように、グリーンカットの実施時間は、コンクリートの養生温度により異なるが、同じ温度においてもかなり

のばらつきがある。このばらつきによるコンクリートの品質への影響を少なくするためには、なんらかの施工管理が必要である。しかし、現在のところグリーンカットの実施時期を適切に表わす指標は確立されていない。

実施工では、寒冷期におけるグリーンカットの実施時期の遅延が工程上の問題となる。図-1には、平成4年度の実測値を基に作成した回帰曲線を示してある。これによると、現場における平均的なグリーンカットの実施時間は、養生温度20℃の場合がおおむね2日、10℃の場合が3日、5℃の場合が5日となる。特に、養生温度5℃付近での遅延が著しいことがわかる。寒冷期におけるグリーンカットの実施時期の遅延を解消するためには、単位セメント量を増す方法がある。しかし、低温環境下におけるRCDコンクリートの単位セメント量を増した場合の効果に関する資料はほとんどない。

このような背景に基づいて、グリーンカット

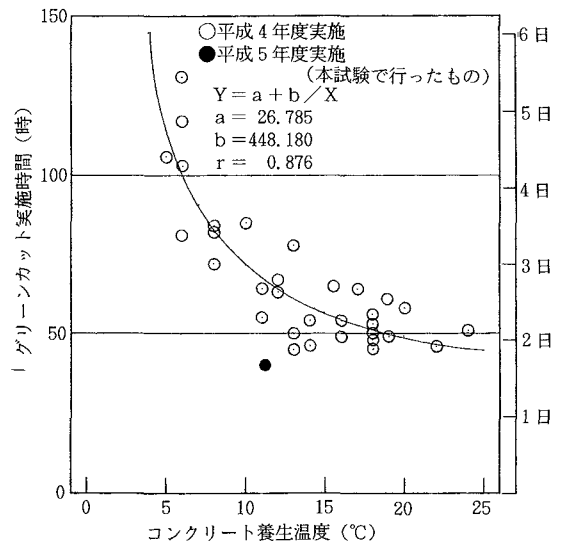


図-1 実施工におけるコンクリート養生温度とグリーンカット実施時間の関係

*材料研究室研究員 **同室長

実施時期を決定するための指標およびグリーンカット遅延対策としての単位セメント量増加の効果について基礎的な実験を行った。ここでは、それらの結果について述べる。

2. 試験概要

2.1 落下貫入試験

グリーンカット実施時期を決定する指標については、落下貫入試験による貫入量の検討を行った。なお、落下貫入試験では、室内および実施工におけるコンクリートを対象とした。

室内における落下貫入試験は、大型VC試験機（容器： $\phi 480 \times 400\text{mm}$ ）で締固めたコンクリート供試体を用いて、木下式雪硬度計を改良したものにより行った。木下式雪硬度計とは、図-2に示すような真鍮製の測定器具であり、分銅（1kg）を所定の高さから落下させ、下部に取りつけられた貫入器の貫入量から雪の硬さを計測するものである。なお、本試験に用いた貫入器は、コンクリートの硬度および貫入量を考慮して、図-3に示すようなステンレス製の

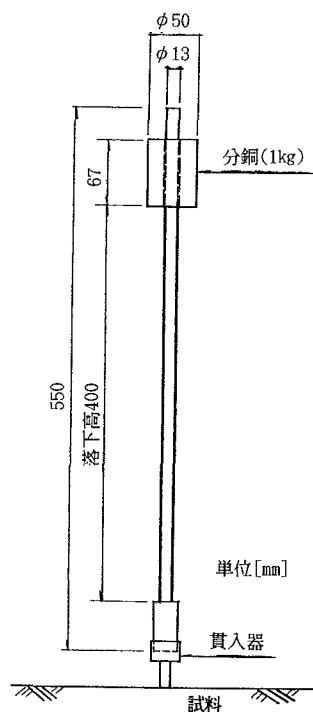


図-2 木下式雪硬度計

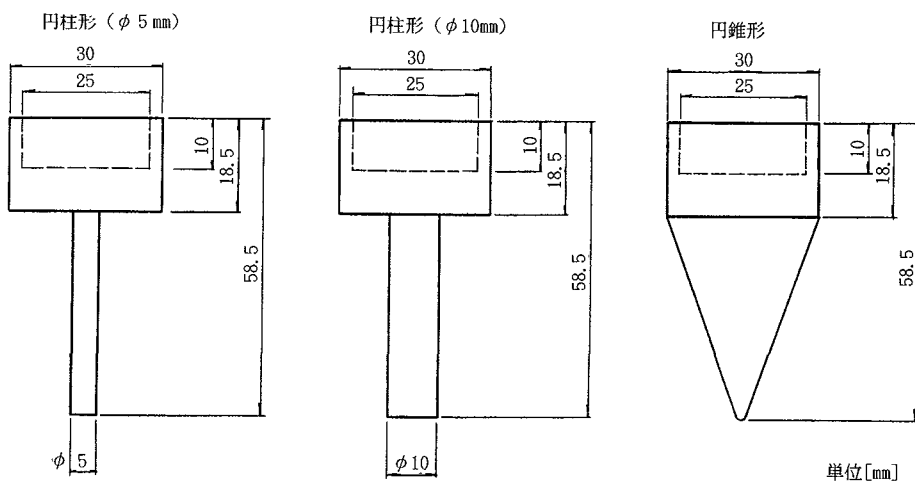


図-3 試験に用いた貫入器

円柱形 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 10\text{mm}$ および円錐形の3種類のものを使用した。また、本試験における分銅の落下高は、目盛り最上段である400mmで行った。室内試験では、材令3, 6, 24, 48, 72, 96, 120時間のコンクリートについて、それぞれ5カ所で落下貫入量を測定した。落下貫入試験の供試体は

1配合につき2試料作成し、ひとつの試料を材令3~48時間、他の試料を材令48~120時間までの試験に用いた。コンクリートの養生温度は、 20°C 、 10°C 、 5°C の3水準とした。なお、コンクリートの練上がり温度は、いずれも養生温度を目標とし、この場合のVC値は、いずれも標

準で20±10秒，大型で60±20秒の範囲内にあることを確認した。

室内試験におけるセメントは，中庸熱高炉ス

ラグセメント（高炉スラグ置換率65％）を用いた。このセメントは，実施工で使用されているものと同一品質のものである。表－1に，セメ

表－1 中庸熱高炉スラグセメントの化学成分および物理特性
（高炉スラグ置換率65％）

セメント	化 学 成 分 (%)										比表面積 (cm ² /g)	比重
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ig・loss	insol		
中庸熱高炉スラグセメント	11.1	1.7	30.1	49.0	5.1	0.9	0.2	0.34	0.5	0.5	3,970	3.01

ントの化学成分および物理特性を示す。混和剤は，主成分がリグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体であるA E減水剤標準型のもを標準量であるセメント重量の0.25％使用した。骨材は，北海道札内川産の川砂および河床石を使用した。これらも，実施工で使用されているものと同一品質のものである。粗骨材の配合比は，実施工の場合と同様に，粒径150～80mm，80～40mm，40～20mm，20～5mmの4群に分級し，混合比を28:24:20:28とした。表－2に，骨材の分級ごとの物理的性質を示す。コンクリートの練混ぜは，一軸強制練りミキサ（容量150ℓ）を使用した。練混ぜ時間は，細骨材および粒径80mmまでの粗骨材投入後20秒，セメント投入後10秒，水および混和剤投入後60秒，粒径150～80mmの粗骨材投入後30秒の合計120秒と

表－2 骨材の物理的性質

項目 粒径(mm)	比 重	吸 水 率 (%)	粗 粒 率
150～80	2.74	0.45	—
80～40	2.72	0.61	8.99
40～20	2.71	0.77	7.98
20～5	2.68	1.22	6.62
5以下	2.66	1.73	2.34

した。

実施工においても，落下貫入試験を現場の3カ所の打設レーンにおいてグリーンカットが開始される直前の材令40時間まで行った。なお，コンクリートの材令は振動ローラによる締固め終了から落下貫入試験を行うまでの時間である。

表－3 コンクリートの配合

No.	単 位 量 (kg/m ³)				細骨材率 S/a (%)	養生温度 (℃)	落下貫入試験	圧縮強度試験	試験区分
	セメント	水	細骨材	粗骨材					
1	120	86	641	1,675	28	20	○	○	室内試験
2	"	"	"	"	"	10	○	○	
3	"	"	"	"	"	5	○	○	
4	140	"	635	1,663	"	20	—	○	
5	"	"	"	"	"	10	—	○	
6	"	"	"	"	"	5	—	○	
7	160	"	630	1,650	"	20	—	—	
8	"	"	"	"	"	10	—	○	
9	"	"	"	"	"	5	—	○	
10	120	83	641	1,683	"	—	○	—	実施工

落下貫入試験におけるコンクリートの配合を表-3に示す。このうち、No.1が実施工ダムの示方配合である。なお、No.10の実施工におけるコンクリートの単位水量が示方配合のものに比べて3kg/m³少なくなっているが、これは実施工におけるコンクリートのコンシステンシーが季節（主に気温）の変化に伴い異なるため、VC値を標準値になるように単位水量を調整したためである。

2.2 圧縮強度試験

単位セメント量を増した場合の効果の検討は、圧縮強度試験により行った。圧縮強度試験におけるコンクリートの配合は、表-3のNo.1からNo.9に示すように単位セメント量を120kg/m³、140kg/m³、160kg/m³の3水準とし、養生温度はそれぞれについて20℃、10℃、5℃の3水準とした。なお、コンクリートのVC値は、落下貫入試験の場合と同様にいずれも標準値の範囲内にあることを確認した。圧縮強度試験は、φ150×300mmおよびφ100×200mmの供試体を用い、材令24、48、72、96、120時間の5水準で行った。φ150×300mmの供試体（以下、コンクリート供試体と呼称）の作成では40mmフルイで、φ100×200mmの供試体（以下、モルタル供試体と呼称）の作成では5mmフルイでそれぞれウェットスクリーニングしたコンクリートを用いた。なお、これらの試験はいずれも室内試験のみ行った。

3. 試験結果および考察

3.1 落下貫入量

3.1.1 室内試験における落下貫入量の特性

図-4に、円柱形φ5mm貫入器を用いた場合の室内試験における材令と落下貫入量の関係を示す。落下貫入量は、いずれの養生温度においても材令初期には大きな値を示し、その後、材令とともに小さくなるが、材令48時間から72時間を経過するころには大きな変化が見られなくなる。材令3時間および6時間における落下貫入量には、大きなばらつきがある。これは材令数時間では、セメントの凝結の程度が低いため、骨材の粗密が貫入量に影響したためと思われる。落下貫入量は、養生温度20℃の場合に比べて5

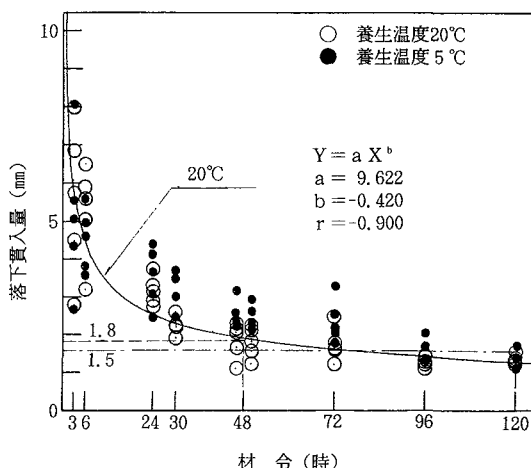


図-4 室内試験における材令と落下貫入量の関係（円柱形φ5mm貫入器）

℃の場合の方が大きくなる傾向を示している。なお、実際のグリーンカット施工時期に対応する落下貫入量は、養生温度20℃の場合が材令48時間で平均1.8mm、5℃の場合が材令120時間で平均1.5mmとなった。

図-5に、円柱形φ10mmの貫入器を用いた場合の材令と落下貫入量の関係を示す。円柱形φ10mmの場合の落下貫入量は、φ5mmの場合と同様な特性を示しているが、その値はほとんどの材令においてほぼ1/2程度と小さなものとなっている。実際のグリーンカット施工時期に対応する落下貫入量は、養生温度20℃の場合が材令48時間で平均1.0mm、5℃の場合が材令120時間

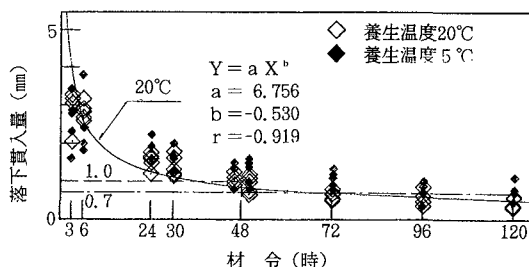


図-5 室内試験における材令と落下貫入量の関係（円柱形φ10mm貫入器）

で平均0.7mmとなった。

図-6に、円錐形の貫入器を用いた場合の材令と落下貫入量の関係を示す。円錐形の場合の落下貫入量も基本的にはφ5mmの場合と同様な特性を示しているが、その値は大きなものと

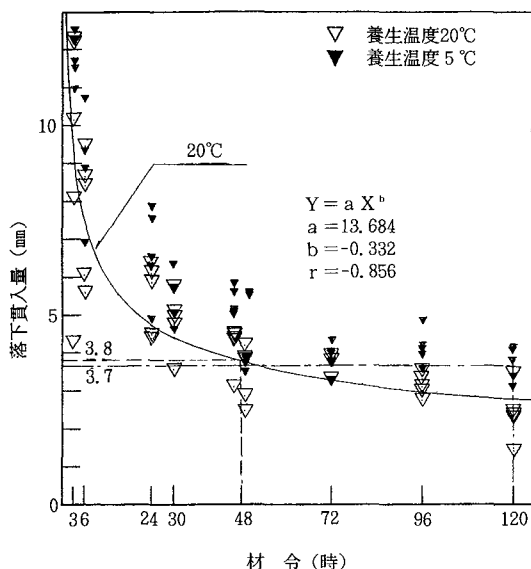


図-6 室内試験における材令と落下貫入量の関係 (円錐形貫入器)

なっている。実際のグリーンカット施工時期に対応する落下貫入量は、養生温度20℃の場合が材令48時間で平均3.8mm、5℃の場合が材令120時間で平均3.7mmとなった。

図-4、5および図-6の試験結果から、落下貫入量の養生温度による差を比較すると、円錐形の貫入器を用いたものが最も小さい。しかし、円錐形の貫入器により測定された値は、材令ごとのばらつきが円柱形φ5mmおよびφ10mmのものと比べて大きくなっている。そこで、図-4、5および図-6には、養生温度が20℃の場合の落下貫入量の回帰式も示す。

図-7(1)に、円柱形φ5mmの貫入器を用い

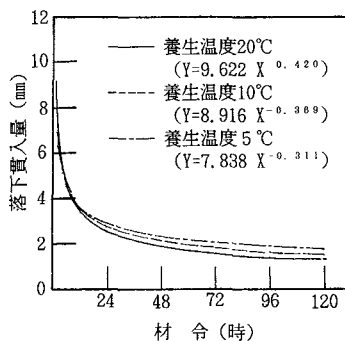


図-7(1) 回帰式による材令と落下貫入量の関係 (円柱形φ5mm貫入器)

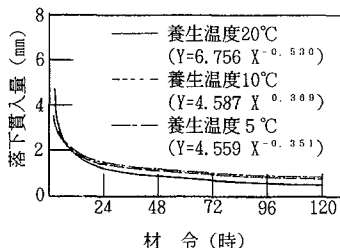


図-7(2) 回帰式による材令と落下貫入量の関係 (円柱形φ10mm貫入器)

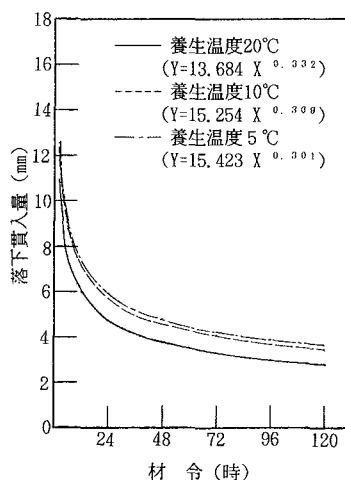


図-7(3) 回帰式による材令と落下貫入量の関係 (円錐形貫入器)

た場合の回帰式による材令と落下貫入量の関係を示す。この式に、図-1で求めたグリーンカット施工時期に相当する材令を代入すると、落下貫入量は養生温度20℃の場合が材令49.2時間で1.9mm、10℃の場合が71.6時間で1.8mm、5℃の場合が116.4時間で1.8mmとなり、いずれの養生温度においても1.8mm程度とほぼ一定な値となった。また、これらの式から材令48時間における落下貫入量を求めると、養生温度20℃の場合が1.9mm、10℃の場合が2.1mm、5℃の場合が2.4mmとなる。さらに、材令120時間における落下貫入量を求めると、養生温度20℃の場合が1.3mm、10℃の場合が1.5mm、5℃の場合が1.8mmとなり、これら養生温度の違いによる貫入量の差は測定誤差よりも小さなものである。

図-7(2)に、円柱形φ10mmの貫入器を用いた場合の回帰式による材令と落下貫入量の関係を示す。この式にも、グリーンカット施工時期に相当する材令を代入すると、養生温度20℃の場合が0.9mm、10℃の場合が1.0mm、5℃の場合が0.9mmとなり、いずれの養生温度においても0.9mm程度とほぼ一定な値となった。なお、養生温度の違いによる貫入量の差はφ5mmのものに比べて、さらに小さなものである。

図-7(3)に、円錐形の貫入器を用いた場合の回帰式による材令と落下貫入量の関係を示す。この式にも、同様にグリーンカット施工時期に

相当する材令を代入すると、養生温度20℃の場合が3.8mm、10℃の場合が4.1mm、5℃の場合が3.7mmとなり、3.8mm前後の値となった。なお、養生温度の違いによる落下貫入量の差は、 $\phi 5$ mmの貫入器に比べて大きなものとなった。しかし、それでも養生温度の違いによる落下貫入量の差は、材令120時間において養生温度20℃の場合が2.8mm、5℃の場合が3.7mmであるので、1 mm程度と測定誤差に比べて小さなものである。このように、落下貫入量は材令に伴って値が収束することに加えて、養生温度の違いに対しても大きな差がない。このため、落下貫入量を用いてグリーンカット実施時期を判断するには測定値のばらつきを小さくするために、例えば粗骨材の影響を受けた測定値を排除するなどの配慮が必要である。以上の室内試験の結果から、グリーンカットの実施時期に相当する落下貫入量は、円柱形 $\phi 5$ mm貫入器を用いた場合が1.8 mm、 $\phi 10$ mmの場合が0.9 mm、円錐形の場合が3.8 mm程度であることがわかった。

3.1.2 室内試験および実施工における落下貫入量の比較

図-8に、円柱形 $\phi 5$ mm貫入器を用いた場合の室内試験および実施工におけるコンクリートの材令と落下貫入量の関係を示す。なお、実施工における落下貫入量の測定は、現場での制約から同一個所で続けることが困難であったため、図に示すように材令ごとに異なるレーンで行った。各レーンの打設時刻はそれぞれ異なるため、コンクリートの養生条件は必ずしも同一とはいえないが、コンクリートの硬化に最も影響を及ぼす養生温度が図に示すように平均で10℃から13.4℃であり、それぞれのレーンでの養生条件は大差ないと判断した。そこで、得られた測定値は打設レーンの選別をせずに取りまとめた。また、これら実施工におけるコンクリートの平均養生温度は、養生温度10℃である室内試験の場合と比べて若干高いものの、同程度の値とみなせる。実施工における落下貫入量は室内試験の場合と比較すると、材令3時間および24時間において、室内試験のものよりも大きな値を示している。また、室内試験における材令9、12、15、および18時間の測定値がないので直接

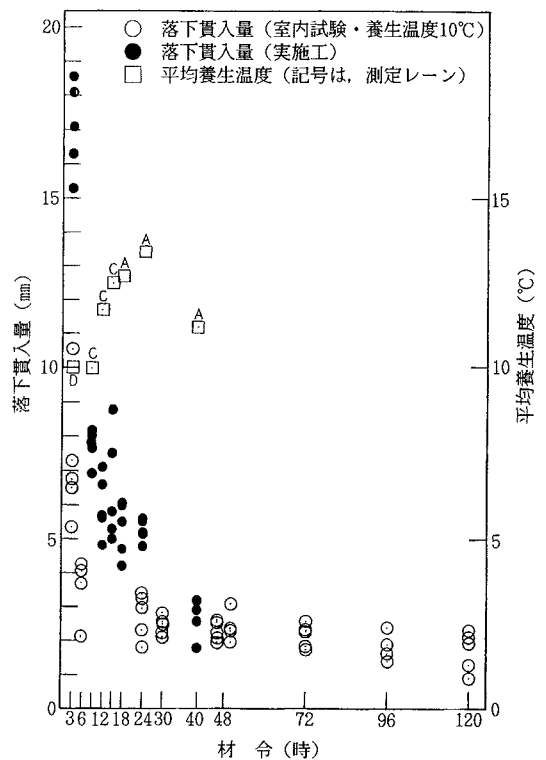


図-8 室内試験および実施工におけるコンクリートの材令と落下貫入量の関係（円柱形 $\phi 5$ mm貫入器）

比較することはできないが、実施工における落下貫入量は、室内試験の場合よりも大きな値となることが推測される。このように、初期材令における実施工のコンクリートが室内試験のものよりも柔らかい理由は、実施工の養生温度が室内試験のように一定ではないため、養生温度が低下した場合のセメントの硬化が相当に遅延し、養生温度が上昇した場合においても、その遅れを取りもどせなかったためと思われる。

図-9に、円柱形 $\phi 10$ mmの貫入器を用いた場合の室内試験および実施工におけるコンクリートの材令と落下貫入量の関係を示す。なお、コンクリートの養生温度は、図-8の場合と同じである。実施工におけるコンクリートの落下貫入量は、 $\phi 5$ mmの場合と比べて、どの材令においても $\frac{1}{2}$ 程度と小さいが、基本的には $\phi 5$ mmの場合と同様な特性を示している。したがって、グリーンカット実施時期を判断するための指標としてこの両者を比較するならば、 $\phi 5$ mmの貫入器を用いる方が適している。しかし、反面、

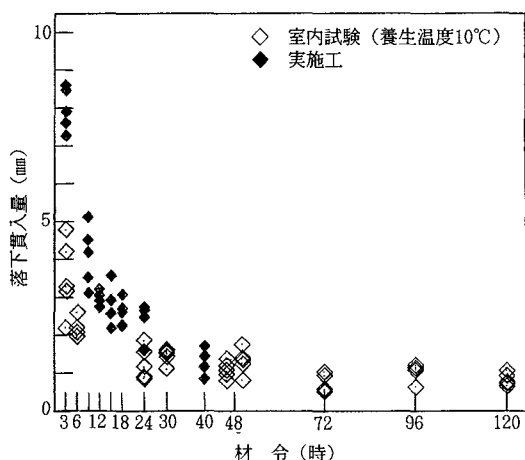


図-9 室内試験および実施工におけるコンクリートの材令と落下貫入量の関係（円柱形 $\phi 10\text{mm}$ 貫入器）

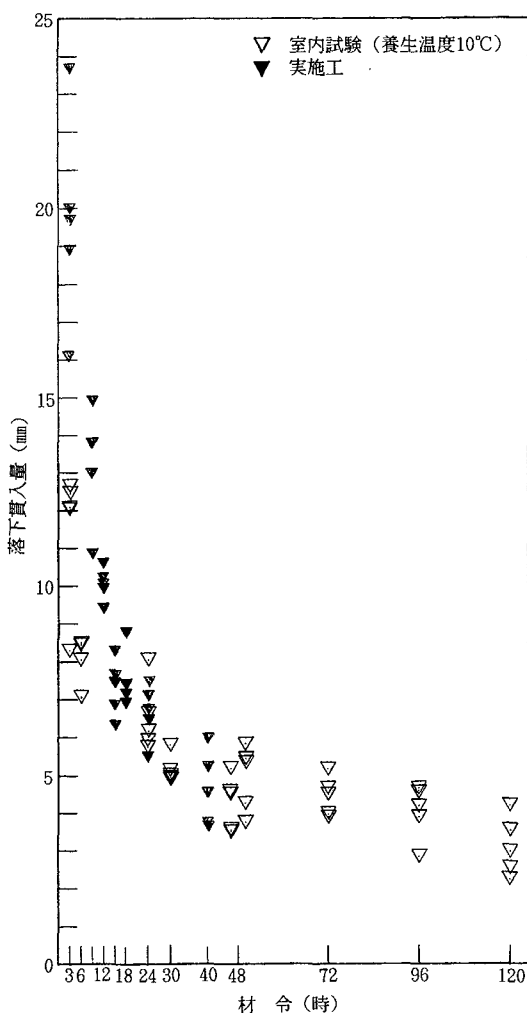


図-10 室内試験および実施工におけるコンクリートの材令と落下貫入量の関係（円錐形貫入器）

材令24時間に満たない若材令の落下貫入量は、 $\phi 10\text{mm}$ に比べて $\phi 5\text{mm}$ の方がばらつきが大きい。このため、 $\phi 5\text{mm}$ の貫入器を用いて若材令の落下貫入量を測定する場合は、測定回数を増したり、粗骨材の影響と考えられる測定値を排除する必要がある。

図-10に、円錐形の貫入器を用いた場合の室内試験および実施工におけるコンクリートの材令と落下貫入量の関係を示す。円錐形の貫入器を用いた場合の材令12時間までの落下貫入量も、実施工における値の方が室内試験の値よりも大きいと推測される。しかし、材令24時間以後の値は、いずれもほぼ同程度となり、円柱形の貫入器を用いた場合に比べて早い時期にその差が消失している。これは、貫入器のコンクリートへの圧縮面積は円柱形の場合、貫入量に係わらず一定であるのに対し、円錐形の場合では貫入量が増すと圧縮面積は増加するため、コンクリートの硬化に伴い貫入抵抗がある値に達すると、測定感度が材令初期に比べて鋭敏ではなくなったためと思われる。また、円柱形の貫入器を用いた場合に比べて円錐形の貫入器では、測定値のばらつきが大きくなる傾向がある。このような点を問題にしなければ、円錐形の貫入器を用いた場合の方が $\phi 5\text{mm}$ の貫入器を用いた場合に比べて、材令に伴う落下貫入量の変化が把握しやすく、グリーンカット実施時期の判断指標に適している。

ところで、平成4年度の実測値を基に、室内試験において求めたグリーンカット実施時期に相当する落下貫入量は、円柱形 $\phi 5\text{mm}$ の貫入器を用いた場合が 1.8mm 、 $\phi 10\text{mm}$ の場合が 0.9mm 、円錐形の場合が 3.8mm 程度と前述した。ところが、本試験での実施工におけるグリーンカット実施時の落下貫入量は、平均で円柱形 $\phi 5\text{mm}$ の貫入器の場合が 2.7mm 、 $\phi 10\text{mm}$ の場合が 1.3mm 、円錐形の場合が 4.7mm となり、室内試験において求めた値と比較すると大きな値である。このことは、本試験で行われたグリーンカット実施時期が図-1に示すように、平成4年度のグリーンカット実施時期より早期であったためと思われる。グリーンカットが早期に行われた理由には、現場作業者の慣れや経験に伴う判断の差が

あるものと思われる。

3.2 圧縮強度

3.2.1 コンクリート供試体の圧縮強度

図-11(1)に、室内試験における養生温度20℃の場合のコンクリート供試体の材令と圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は材令とともに増加し、単位セメント量120kg/m³の場合に比べて

140kg/m³の方が大きい。図-11(2)に、養生温度が10℃の場合の材令と圧縮強度の関係を示す。養生温度10℃の場合も圧縮強度は材令とともに増加し、その増加度は単位セメント量が多い方が大きい。しかし、養生温度20℃の場合に比べて、どの単位セメント量においても圧縮強度は小さくなる。図-11(3)に、養生温度が5℃の

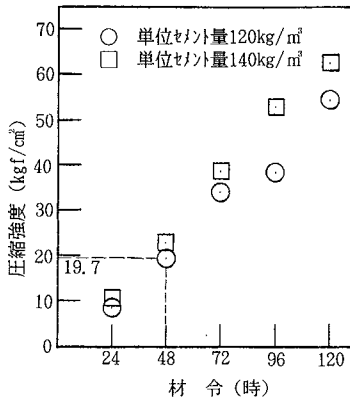


図-11(1) コンクリート供試体の材令と圧縮強度の関係 (養生温度20℃)

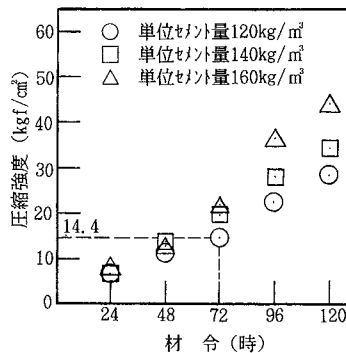


図-11(2) コンクリート供試体の材令と圧縮強度の関係 (養生温度10℃)

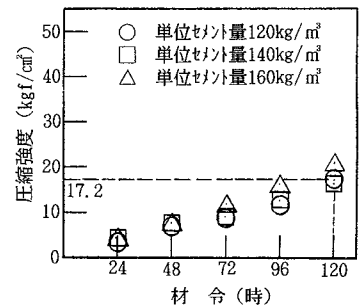


図-11(3) コンクリート供試体の材令と圧縮強度の関係 (養生温度5℃)

場合の材令と圧縮強度の関係を示す。養生温度5℃における圧縮強度の増加度は養生温度20℃の場合に比べると相当小さくなり、どのセメント量においても大差ない。このように、グリーンカットを効率的に行うために単位セメント量を増すことは、養生温度5℃のような低温下ではほとんど効果がないといえる。単位セメント量120kg/m³の場合のコンクリート供試体の

圧縮強度は、20℃の場合が材令2日で19.7kgf/cm²、10℃の場合が材令3日で14.4kgf/cm²、5℃の場合が材令5日で17.2kgf/cm²となり、前述した実施工におけるグリーンカット実施時期と必ずしも一定な関係にはなかった。

3.2.2 モルタル供試体の圧縮強度

図-12(1)、(2) および図-12(3)に、養生温度がそれぞれ20℃、10℃および5℃の場合の室

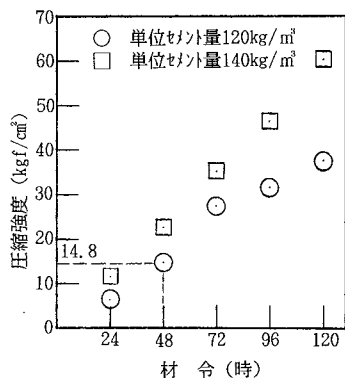


図-12(1) モルタル供試体の材令と圧縮強度の関係 (養生温度20℃)

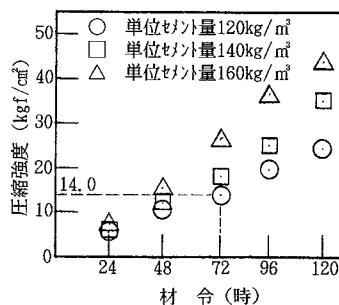


図-12(2) モルタル供試体の材令と圧縮強度の関係 (養生温度10℃)

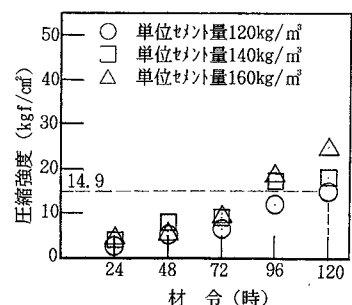


図-12(3) モルタル供試体の材令と圧縮強度の関係 (養生温度5℃)

内試験におけるモルタル供試体の材令と圧縮強度の関係を示す。モルタル供試体の圧縮強度は、単位セメント量を増した場合および養生温度が低下した場合のいずれにおいても、基本的にはコンクリート供試体の場合と同様な特性を示している。しかし、単位セメント量 $120\text{kg}/\text{m}^3$ の場合のモルタル供試体の圧縮強度は、養生温度 20°C の場合が材令2日で $14.8\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 10°C の場合が材令3日で $14.0\text{kgf}/\text{cm}^2$ 、 5°C の場合が材令5日で $14.9\text{kgf}/\text{cm}^2$ となり、実施工におけるグリーンカット実施時期とよく符合している。このことは、グリーンカット作業の主体がコンクリート表面のモルタルを削ることであるために、前述したコンクリート供試体よりもモルタル供試体の方がグリーンカット実施時期と相関が高くなったものと思われる。したがって、圧縮強度をグリーンカット実施時期の判断指標として用いる場合は、コンクリート供試体よりもモルタル供試体の方が適している。

4. グリーンカット実施後のコンクリートの状態

本試験での、実施工におけるコンクリートのグリーンカット実施後の状況を以下に示す。

写真-1は、材令24時間で試験的に早期にグリーンカットを行った場合のコンクリートである。コンクリートの全面から粗骨材が露出し、そのほとんどが剝離しており、粗雑で良好な状態とはいえない。

写真-2は、材令40時間でグリーンカットを行った場合のコンクリートである。コンクリー



写真-1 材令24時間でグリーンカットを行ったコンクリート



写真-2 材令40時間でグリーンカットを行ったコンクリート

トの表面は、局部的には粗骨材が大きく露出している個所もあるが、全体的に材令24時間のものに比べて良好な状態にある。

5. あとがき

以上の結果から、落下貫入量をグリーンカット実施時期の判断指標として用いることが可能であると思われる。なお、本試験における落下貫入試験は、養生温度に着目して検討を行ったが、このほかに用いるセメントの種類の影響についての検討が必要であると思われる。今後は、これらの要因を考慮しながら実施工でのデータを集積し、より合理的なグリーンカット実施時期の判断指標の確立を目指す。

最後に、本研究の実施工におけるデータの収集に御協力をいただいた札内川ダム建設事業所ならびに工事関係者の方々に、深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土開発技術研究センター；RCD工法技術指針（案），PP87，平成元年8月。