

マスコンクリートについて

高橋久雄 西川勝久
永井康淑

Mass Concrete Practices

Hisao Takahashi Katsuhisa Nishikawa
Yasuyoshi Nagai

Abstract

Recently, as increasingly large reinforced concrete structures have come to be built in great number, it has become necessary to treat concrete in such structures as mass concrete.

The report is written primarily to provide guidance for design and construction procedures necessary to control cracking of mass concrete.

概 要

最近、鉄筋コンクリート構造物の大型化の傾向にともない、使用するコンクリートは、マスコンクリートとして扱わなければならない場合が多い。マスコンクリートは、一般のコンクリートとくらべて、セメント水和熱による特有のひび割れが発生しやすい。

ここでは、マスコンクリートのひび割れを防止するため、設計・施工時に注意しなければならない諸事項について述べている。

1. まえがき

最近、土木・建築構造物の大型化にともない、使用するコンクリートは、ダム工事でなくとも、高層建築物の基礎梁、橋脚の下部、大型機械基礎、製鉄所炉台、原子力および火力発電所施設、超高煙突基礎などの大型鉄筋コンクリート（もしくは、鉄骨鉄筋コンクリート）構造物では、マスコンクリートとして取扱わなければならない場合が多い。

しかし、我国では、ダムコンクリートについて、土木学会の「コンクリート標準示方書・ダムコンクリート」のように確立した施工基準があるが、ダム以外の一般構造物のマスコンクリートには施工基準が確立していない。一方、米国では、ACI 207 委員会、224 委員会、301 委員会などの報告による施工基準が比較的整備されている。

これは、ダム以外のマスコンクリートの施工方法が、ダムコンクリートと基本的に共通であるとはいえ、次のような点で両者が異なっているためである。

- ① ダムコンクリートでは、セメント使用量が 100～200 kg/m³ であり、圧縮強度も比較的低い、マス構造体のコンクリートは、180～210 kg/cm² の設計強度が要求され、それに応じてセメント使用量も多く必要とする。
- ② ダムは無筋であるが、マス構造体には鉄筋（もしくは鉄骨）が密に配置されている。
- ③ ダムコンクリートは、ひび割れを許容すれば、漏水と結びつき危険性をともなうが、マス構造体のコンクリートは、ひび割れの発生をある程度許容される場合も多く、むしろ、構造体としての強度確保が優先される。
- ④ ダムコンクリートは、低スランプ（3～5cm）であり、バケットによる打設が可能であるが、マス構造体のコンクリートは、鉄筋（鉄骨）が密に配置されているから、充てん性を良くするためスランプが比較的大きい。
- ⑤ ダムコンクリートは、150mm 程度の粗骨材を使用しているが、マス構造体のコンクリートは、密な

配筋の関係上、40mm 以下の粗骨材を使用している。

しかし、以上に示したような相違点があるとはいえ、マスコンクリートであることには変わりなく、種々の注意をはらって施工しなければ、セメントの水和熱の上昇によってコンクリートにひび割れが生じ、トラブルの原因となる場合が多い。

ここでは、マスコンクリートとして取扱う場合、一般のコンクリートと比べて、設計時および施工時においてひび割れのトラブルを無くすために考慮しなければならない諸事項を挙げた。しかし、マスコンクリートの施工基準が確立していないため、経験、測定、他の資料に基づいた対処方法である。今後のマス構造体におけるコンクリートの施工に幾らかでも参考になれば幸いである。

2. マスコンクリートの定義

マスコンクリートの定義は、明確に規定されているわけではないが、一般に、セメントの水和熱による温度上昇がひび割れに影響を与えらると思われるほどマッシュなコンクリートをマスコンクリートとして扱っている。これは、打設時期、打設量、部材の形状(容積)、拘束条件などの要因によって決まるため、一律に寸法の限界を定めることができないためである。

例えば、ACI 207 委員会では、「ひび割れを最小にするために水和熱や体積変化などに対する処置が必要なほど大きな寸法の場所打ちコンクリート」と定義しており、また、ACI 301 委員会では、個々の工事において定めるべきであるとの前提のもとで、「一般に、大きさの限界は最小 2¹/₂ft (76cm) 以上」と規定している。

3. マスコンクリートのひび割れの原因

マスコンクリートにおいて最も問題となるのは、マスコンクリート特有のひび割れの発生であり、その原因は、主としてセメントの水和熱の上昇によって生じる温度応力である。このひび割れは、温度上昇および降下の勾配、拘束条件およびコンクリートの引張強度などの要因に影響されるが、温度上昇がピークに達し、温度降下に移った直後におおむね発生し、しかも、ひび割れの方向、位置および幅などかなりの規則性が認められる。

ひび割れは、その発生の機構上、次の2種類に分類することができる。

(1) 貫通ひび割れ

コンクリートの温度上昇がピークに達してから温度

降下に移るときにコンクリートが収縮し、この収縮を拘束した場合(例えば、先行して打設した既設の固ったコンクリートが拘束する)に引張応力が生じ、この引張応力が原因となってひび割れが発生する。この仕組みは、図-1のように図示できる。

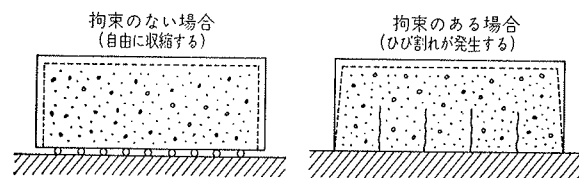


図-1 貫通ひび割れの発生原因

このひび割れは、収縮を妨げる拘束条件により異なるが、一般に、温度差が 30°C 以上になると発生するといわれており、部材を貫通する場合が多い。

(2) 表面ひび割れ

断面が特に大きい場合には、表面の部分と表面から深い部分との温度差により、温度の低い側に生じる温度応力(引張り)によってひび割れが生じる。このひび割れは、一般に、表面にのみ発生する。

いずれの原因にしても、コンクリート内部の温度差が大きいくほど大きな温度応力が生じ、ひび割れが発生しやすい。従って、ひび割れの発生を防ぐには、温度上昇を小さくして温度差を少なくすることである。

4. マスコンクリートのひび割れ対策

ひび割れ対策は、コンクリートの温度上昇をできるだけ小さくし、しかも、温度分布をできるだけ均等にしている著しい温度差が生じないようにすることが根本である。

以下に、設計時および施工時に考慮しなければならない具体的な対策について述べる。これらの対策は、その一つだけでは効果をあげにくいので、総合的な見地から種々組合せて、構造体が要求する施工精度(ひび割れの許容限度)などに合致するよう最も有効な対策とするのが望ましい。

4.1. 設計時の対策

(1) 設計基準強度

設計基準強度は、条件が許すかぎりできるだけ低く設計するのがセメント量を減少するうえで望ましい。また、遅硬性セメントを使用する場合には、設計基準強度は、材令が4週ではなく、より長期的強度をもって決定するのが、セメントの特性をいかすうえで最も望ましい。

(2) 鉄筋(鉄骨)の配置

部材内に鉄筋（鉄骨）が密に配置されているほど打設するコンクリートの充てん性を良くしなければならず、所定のワーカビリティを確保するために水量、セメント量を増すと、セメントの水和熱により温度が上昇する結果となる。従って、鉄筋はできるだけ高強度・太径を使用し、鉄筋間隔、かぶり厚さに余裕をもたせるように設計しなければならない。

(3) 収縮目地

ひび割れの発生を防ぐ方法ではないが、収縮目地を設けることによって構造的に支障のないひび割れを意識的に発生させることができる。ACI 224 委員会では、一般コンクリートの収縮目地について、「目地の間隔は、壁体の高さの1（高い壁）～3（低い壁）倍に設ける」と述べており、また、他の資料では、「目地の間隔は、冬期には10m程度、暑中には3.5m程度」となっている。

4.2. 調合時の対策

(1) 粗骨材の寸法

粗骨材の最大径は、条件が許すかぎり 40mm 程度を使用する。骨材径が大きいほどコンクリートのワーカビリティが良くなり、しかも、同一強度を得るためのセメント量を減少することができる。

(2) プレクーリング

練混ぜ前に骨材、混合水などを冷却し、練上り温度を人工的に下げる。生コン工場にこのような設備がない場合、骨材の貯蔵場所に屋根を設け直射日光にさらさないか、粗骨材に適時散水して冷やしたり、氷片を混入する方法でも効果がある。

(3) 低発熱性セメントの使用

フライアッシュセメント、高炉セメントあるいは中庸熱セメントなどの水和熱の低いセメントを用いて上昇温度を下げる。一般に、これらのセメントは普通セメントより強度発現が遅いとされているが、マスコンクリートの場合、養生条件が標準養生より良いので長期的強度が促進され殆んど問題とならない。しかし、前述したように、その特性を十分にいかすためには、4週強度にとらわれず長期強度（例えば、91日強度）を目標として調合を決めると、単位セメント量が少なくなる。一定の単位セメント量における各種セメント別の断熱温度上昇の関係を図-2 に比較して示す。

多くのマスコンクリート工事に使用されているフライアッシュセメントは、総発熱量が減少するだけでなく、発熱の温度勾配も緩やかになり、さらに、コンクリートのワーカビリティ、水密性および耐久性が改善される。フライアッシュの混入率と断熱温度上昇の関係を図-3 に示す。この図より、フライアッシュの混入

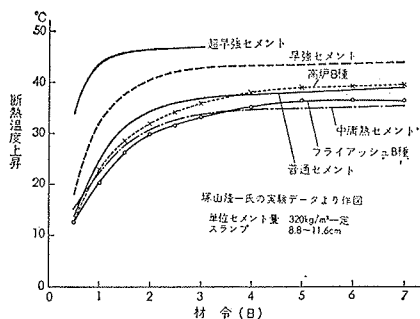


図-2 セメントの種類と断熱温度上昇

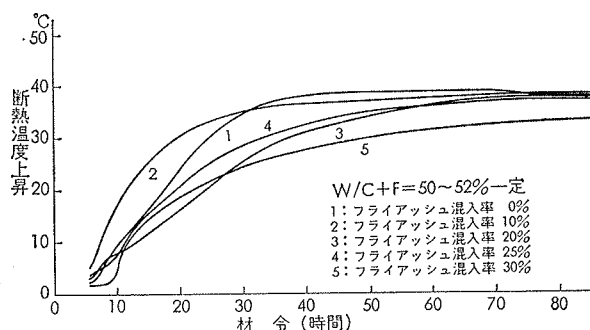


図-3 フライアッシュ混入率と断熱温度上昇

率が多いほど温度低下には効果が大きいですが、短期強度を考慮して、一般には10～20%の範囲で使用されている。

(4) 単位セメント量の減少

発熱源であるセメントの使用量をできるだけ少なくする。従って、所定の水セメント比を保ちながらセメント量を減らすためには、できるだけ硬練り（低スランプ——なるべく 8cm 前後を目標）にし、しかも、大きな寸法の粗骨材を使用する。一般に使用されている単位セメント量（フライアッシュを含む）は、280～300 kg/m³ であるが、それ以下がより望ましい。単位セメント量と断熱温度上昇の関係を図-4 に示す。

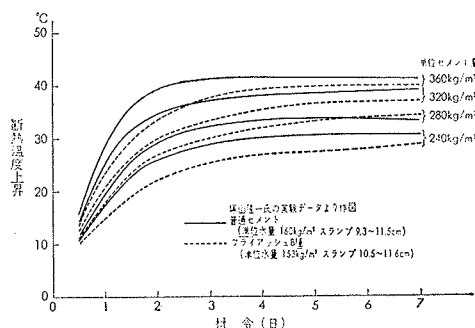


図-4 単位セメント量と断熱温度上昇

(5) 混和剤の使用

適切な混和剤を使用することによって間接的に温度

上昇を防ぐことができる。一般に、所定のコンシステンシーを得るために必要な単位水量を減少（即ち、単位セメント量の減少）させ、しかも、コンクリートの凝結を遅らせる目的を兼ね備えた減水遅延剤が多く使用されている。

4.3. 打設時の対策

(1) コンクリートの温度

コンクリートの練上り温度を 25°C 以上にならないようにする（できれば 20°C 前後を目標）。従って、夏期などの高温時にはできるだけ日中の打設を避け、早朝または夜間などの外気温の低い時期を選んで打設する。

(2) 打設高さ

1 回の打設高さを低くした方が温度上昇が少なくなり、打継いだのちの強度分布も均一化される。しかし、打設高さをあまり小さくすると継目の数が増したり、工期が遅れるなどの不利な点が生じるため、設計・施工両面から打設高さを決めなければならない。なお、打設高さが 2m を超える場合には、それ以上高さを増しても温度上昇には殆んど影響しない。

4.4. 養生時の対策

(1) 散水養生

打設表面への散水は、湿潤養生に役立つと同時にコンクリートを冷却する効果もある。しかし、マスコンクリートでは表面のみが急冷され、大きな温度差を生じる結果にならないように注意しなければならない。

(2) 型枠の脱型時期

型枠は一種の保温作用があるため、上記と同様の理由で脱型時期がコンクリートの最高となる時期（打設後 2.5~4 日）と一致しないようにする。できれば 2 週間以上の型枠存置が望ましい。この時期をチェックするため、打設後のコンクリートの温度を測定するのが望ましい。

(3) パイプクーリング

型枠中にあらかじめ埋設したパイプに冷却水を通して強制的にコンクリートを冷却する方法であり、相当大規模な仮設工事を必要とし、費用もかかるが、コンクリートの温度を低下させるには非常に効果がある。パイプクーリング法の詳細については、測定結果を含めて次章で詳述する。

5. パイプクーリング法

マスコンクリートの温度上昇を防止する最も有効な方法としてパイプクーリング法があげられる。パイプクーリング法はダム工事に於けるものを除けばほとんど実績もなく施工指針的なものも確立されているわけ

ではない。当研究所では過去数回のパイプクーリング施工調査を行なっているのここにそれらを要約した。いまだに完全なものとはいえないが施工計画に際して一資料ともなれば幸いである。

なお、打設後のコンクリート温度を測定することによって、温度分布を適格に把握し、それに基づいて送水管理を十分に行なわなければ、目的を十分に達しない。

(1) 配管はできるだけ単純明快にし、黒ガス管 25A、

縦横 1 m ピッチとする。配管は水平を基本とする。

複雑な配管は冷却水の流量を均等化させるべく、冷却効果にむらを生じさせ（図-6）、打設時・締固め時に配管の移動、変形、あるいは漏水の原因にもなる。配管間隔は狭いほど効果が大きいが経済性的問題とも関係する。2 m ピッチの場合は全く冷却されない個所が生じて断面内の温度差を大きくさせるので避けるべきである。主管の径は分岐管の数で決まるが最小限 80 A 程度は必要である。

なお、配管計画などは、理論計算によるコンクリートの温度を推定して、より適切に設計することができる。（図-5 は某現場に於ける配管実施例）

(2) 冷却管の給水側、排水側の両方にバルブ、および透明なビニールパイプを設けて流量の調整ができるようにする。

給水側バルブは

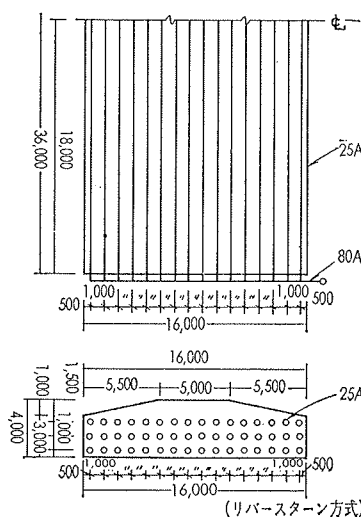


図-5 冷却管配管例

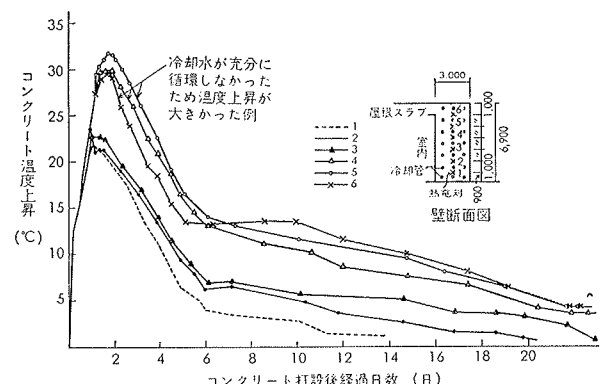


図-6 冷却水供給量に差がある時の温度変化

主管からの流量を調整するためのものである。一方、排水側バルブは管内に冷却水を充満させるために使用されるもので、給水不足による管壁全周の冷却が一樣でない場合にバルブを絞って利用される。

- (3) 配管工事終了後、コンクリート打設前に通水試験を行なって漏水のないことを確認する。
- (4) 冷却水量は1本当り 10~20l/min 程度必要である。水温はコンクリート温度と比べて極度に差の大きくないものとする。

一定の冷却効果を得るための水量は冷却水の温度、冷却管の長さ、コンクリート温度、などによって変る。流量が少ないと配管に充分な水量を循環させることが困難となって冷却効果にむらが生ずる。一方、多すぎても効果はさほど増大しないし、管壁の摩擦抵抗が大きくなって動力の消耗も著しくなる。水温は低いほど効果も大きい、コンクリート温度と比べて著しく差のある場合は注意を要する。

- (5) 通水期間は2~3週間必要である。

期間は季節によっても変る。通常の場合、昼夜の通水は7~10日間位でその後は昼のみ通水することが多い。壁、あるいはスラブ、などのように2面が型枠に面しているような構造であって、特に冷却水温が低かったり、冬期施工の場合にはかなりマッシュであっても最大コンクリート温度に到達後の温度低下が著しく断

面内に不利な熱応力を発生させる原因ともなるので最大温度到達後（通常では打設後24~48時間）の通水は継続的に制限するか型枠脱型を延期するような配慮が必要である（図一7、8）。

- (6) パイプクーリング法によってコンクリートの温度上昇は 10~15℃ 低下させることができる。

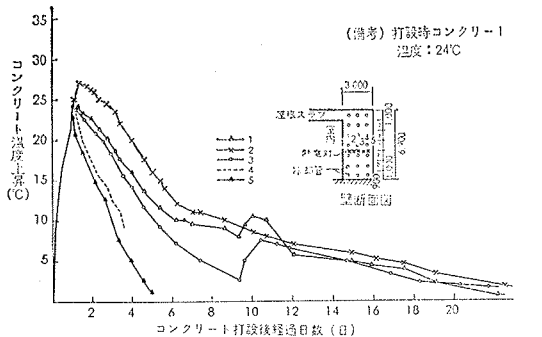
配管ピッチ 1m、セメント使用量300kg/m³以下のコンクリートの場合に適用できる。パイプクーリング法はコンクリート温度を下げる有効な手段であるが、単独では効果も薄れる。やはり、他の方法との併用によって実施されるべきである。

6. マスコンクリートのチェックリスト

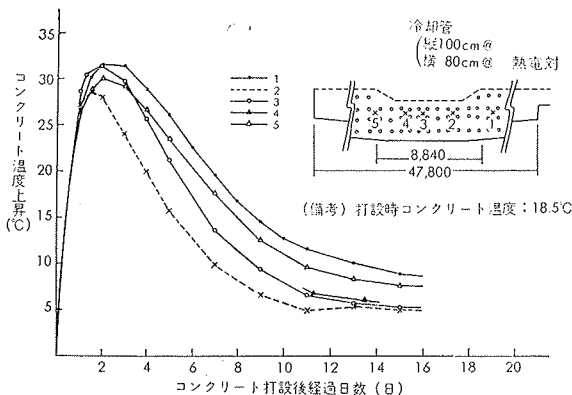
マス構造体のコンクリートは、ダムコンクリート以上に複雑な要素を持っているものもあり、ダムと同様の施工方法をとることが困難な場合が多い。

表一1には、マスコンクリート構造体を設計施工する際に、一般のコンクリートの場合と比べて、特に考慮・検討しなければならない項目をチェックリストとして示した。各項目は、一つ一つを検討するのみならず、相互に関係しているため総合的に判断して無理のない計画を立てなければならない。このチェックリストは、設計者がマスコンクリートに対して、構造体の重要性を考慮して、あらかじめ検討しなければならない事項も含めており、設計図書および仕様書に明記しておく必要がある。

なお、コンクリートの他の一般的注意事項は、JASS 5などに規定されている内容を原則として施工しなければならない。また、マス構造体のコンクリート施工方法が確立しておらず、個々の工事で条件が種々異なるため一律には規定していない部分も多い。従って、現在までに実施されている工事報告を参考にすることも重要である。



図一7 壁構造における温度変化



図一8 ベタ基礎における温度変化

謝辞

この論文を書くにあたっては、数多くの文献から引用した。なかでも、長年マスコンクリートの研究をされている日本セメント株式会社の塚山隆一氏の研究論文から学ぶことが多く、さらに、無断でデータを引用させていただいた。お詫び申し上げますとともに深甚なる謝意を表します。

また、現場施工時の測定データは、当研究所所内報告書を参考にした。関係された諸氏に深く感謝いたします。

(1) 設計時に検討する事項			(2) 施工時に検討する事項		
項目	検討事項の要点	備考	項目	検討事項の要点	備考
ひび割れ	許容限度を明確にする	量, 幅, 位置	打設時期	高温時を避ける	早朝, 夜間の打設
工期	なるべく暑中を避ける	工程	ブレイクリング	混合水, 骨材を冷却する	コンクリート温度, 冷却設備
設計基準強度	必要以上に高強度にしない	長期材令時の強度	コンクリートの製造	マスコン用の設備の有無	専用プラント
スランプ	打設可能なかぎり小さくする	硬練り	打設高さ	なるべく低くする	打継ぎ面, 工期
セメント	低発熱性セメントの使用 使用量を少なくする	フライアッシュ, 高炉, 中庸熱セメント 設計基準強度	打設方法	バケットの使用, ポンプ 使用の可否	打設量, スランプ
混和材料	水和熱の低下に有効で, しかも ワーカビリティ確保のため使用する	ボゾラン, 減水遅延 剤	締固め	十分に締固める	バイブレータの使用
骨材の最大寸法	大きい方がよい	40mm程度	打継ぎ	あまり多く設けない	コールドジョイント, 打設高さ, 打継ぎ面 の処理
鋼材の配置 (かぶり厚さ)	コンクリートの充てん性を考慮 して, 過密にしない	高強度, 太径化	養生	直射日光を避ける 型枠脱型時期の選定	散水養生の時期 凍結の防止
目地	必要に応じて適切な間隔に設ける	収縮目地, 伸縮目地	パイプクーリング 温度測定	配管ピッチ, 送水計画 コンクリート温度の管理	}できるだけ実施する
打継ぎ箇所	構造耐力上, 支障のない位置と する	打継ぎ面の処理 打設高さ			
その他の指示事項	打設時のコンクリート温度 ブレイクリングの実施 パイプクーリングの実施	20℃前後 }できるだけ実施する			

表一 マスコンクリートのチェックリスト

参考文献

- 1) 塚山：マスコンクリート工事とひび割れ——温度とひび割れ, コンクリートジャーナル Vol. 11, No. 9 (1973)
- 2) 塚山：マスコンクリートの施工, 日本コンクリート会議編, コンクリート技術の基礎 '73
- 3) 塚山・宮地：各種セメントを用いたコンクリートの温度上昇, セメント技術年報 XXV (1971)
- 4) 塚山・木挽：マッシュな鉄筋コンクリート構造物の温度上昇, セメント技術年報 XVIII (1964)
- 5) 塚山：暑中コンクリートの温度ひび割れ, コンクリートジャーナル Vol. 4, No.6 (1966)
- 6) 塚山・木挽：水和熱によるコンクリートの温度上昇とその影響, セメント技術年報 XIX (1965)
- 7) 財津・高橋・中根：正本堂建立工事における基礎マスコンクリート, コンクリートジャーナル Vol. 11, No. 5 (1973)
- 8) 小川・山内・鷹原：人工軽量骨材コンクリートを

- 用いた大型フーチングのパイプクーリング効果および温度応力の解析, コンクリートジャーナル Vol. 10, No. 7 (1972)
- 9) 中西：材料面からみたコンクリートのひび割れ, 施工管理 Vol. 15, No. 5 (1973)
- 10) 斎藤・田中：道路橋脚マスコンクリートのフーチング温度測定, 大林組技研所報 No. 3 (1969)
- 11) ACI207 委員会：Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures, ACI Journal No. 4 (1970) —大友(訳), コンクリートジャーナル Vol. 9, No. 2~4 (1971)
- 12) ACI 207 委員会：Effect of Restraint, Volume Change and Reinforcement on Cracking of Massive Concrete, ACI Journal No. 6 (1973) —小谷(抄訳), コンクリートジャーナル Vol. 12, No. 7 (1974)
- 13) ACI 301 委員会：Specifications for Structural Concrete for Buildings, ACI Journal No. 6(1971)