

討5 連鑄2片の応力と内部割れ

日立製作所日立研究所 ○児玉英世 工博新山英輔
堀口 穰
日立工場 木村智明

1. 緒言

連鑄の高速化にともない鑄片の内部割れが問題になってきているが、その発生原因は十分には解明されていないと思われる。そこでこの内部割れ発生に定量的条件を明らかにするために基礎実験を行ない、また連鑄2片に発生する熱応力を計算によって求め内部割れの発生原因を推定し、合せて実験結果との比較を行なったのでその結果を報告する。

表1 化学組成範囲

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
0.16	0.08	0.33	0.007	0.009	<0.03	<0.07	<0.02	<0.02	<0.02
0.21	0.23	0.59	0.021	0.049					

2. 内部割れ発生実験

内部割れにおよぼす鑄片の温度や変形量の影響を明らかにするために静止金型鋼塊に対して押し込み法による変形を与えて検討した。

2.1 実験方法

0.2% C 鋼約3.5 kgを大気溶解し成分調整後、図1の金型(100×50×100 mm)に鑄込み、表面から2, 10, 25 mmに設けたPR熱電対により鑄塊の温度分布を測定した。所定時間(基準は鑄込み完了後40秒)後に凝固殻に押し込み法によって所要時間1~6秒で凹み変形を与えたが、この凹み変形量は1~5 mmまで変化させた。溶湯の分析値の範囲を表1に示す。

冷却後、凹み中心の高さで鑄塊を切断して変形量(凹み深さ δ mm)を測定し、割れの有無、組織、サルファプリントによる偏析の観察などを行なった。

2.2 実験結果

押し込みによって生じた凝固殻の変形部付近では鑄片表面から内部に向かって次のような組織変化がみられた。

- (1) 表面健全域
- (2) 正偏析域(サルファプリント濃部)
- (3) 負偏析域(サルファプリント白色部)
- (4) 中心健全域

ここで正偏析域は柱状晶に平行な多数の脈状偏析の集合であり、割れが発生している場合には割れはこの領域に存在

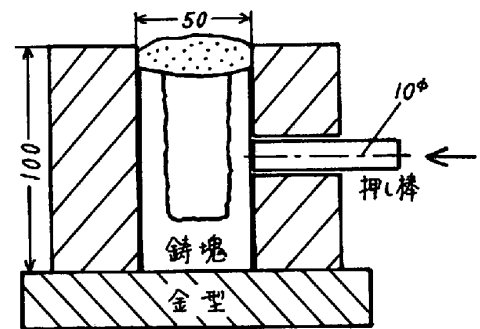


図1. 実験装置

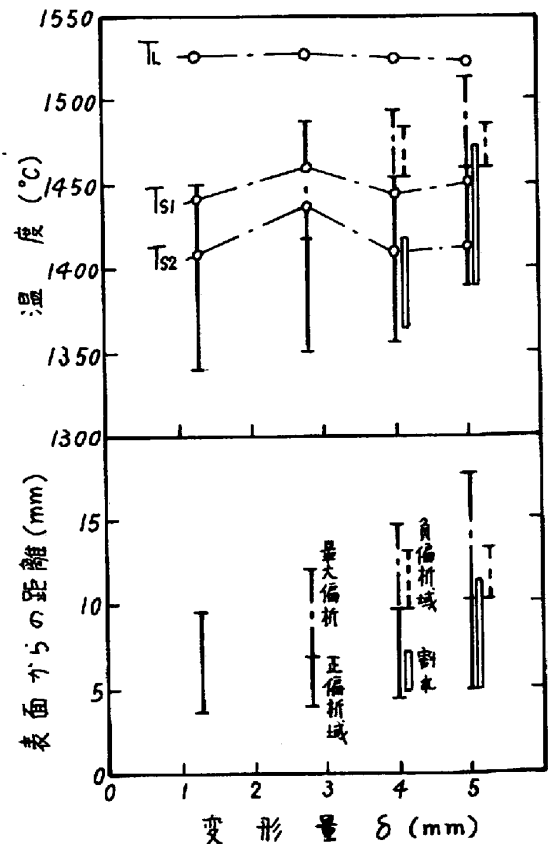


図2. 割れと偏析位置に対する変形量の影響

していた。負偏析域は割れの発生がみられた鋳塊で正偏析の鋳塊中心側に明瞭に認められた。また1~2本の長い脈状偏析が正負両偏析域をつきぬけて中心近くまで達している場合(最大偏析と称する)もみられた。

図2は基準組成の鋳塊の場合のこれらの偏析と割れの発生位置および温度に対する変形量の影響を示したものである。ここで T_L は溶湯の化学組成から求めた液相線温度、 T_{S1} 、 T_{S2} は同じく固相線温度であるが、 T_{S2} はマイクロ偏析を考慮した式²⁾から求めたものである。変形量の増加とともに最大偏析が長くなり $\delta = 4\text{ mm}$ 以上で割れおよび負偏析がみられるが正偏析の位置は表面から4~10 mmで変わっていない。単純なはりの円弧状変形を仮定した割れ発生の臨界ひずみ量は $\epsilon = 0.18$ であった。測温結果との対比から正偏析域は1340~1450°Cに相当しており、溶湯の分析値から求めた固相線温度よりも40~100°C程度低くなっていることがわかった。

図3は基準組成の鋳塊の偏析および割れの発生位置および温度におよぼす変形時期の影響を示したものである。正偏析域の位置は変形時期とともに鋳片中心側に移動するが、相当温度は1360~1490°Cでほぼ一定している。

次に組成の影響についてみると、低S(0.009%)の鋳塊では正偏析域に相当する温度が1430~1480°Cと高くなった。高C(0.65%および1.00%)の鋳塊の割れ傾向は基準組成のものと比較して差がみられなかった。中S(0.018%)の鋳塊も基準組成のものと同様傾向を有していた。

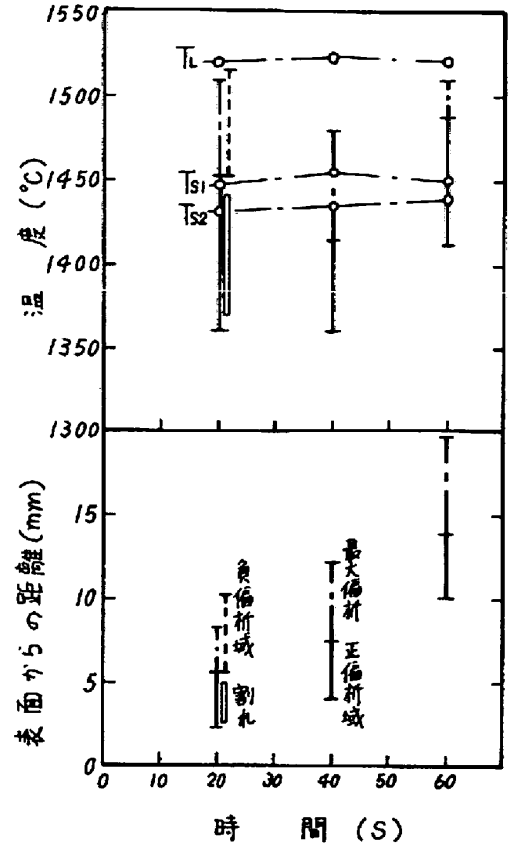
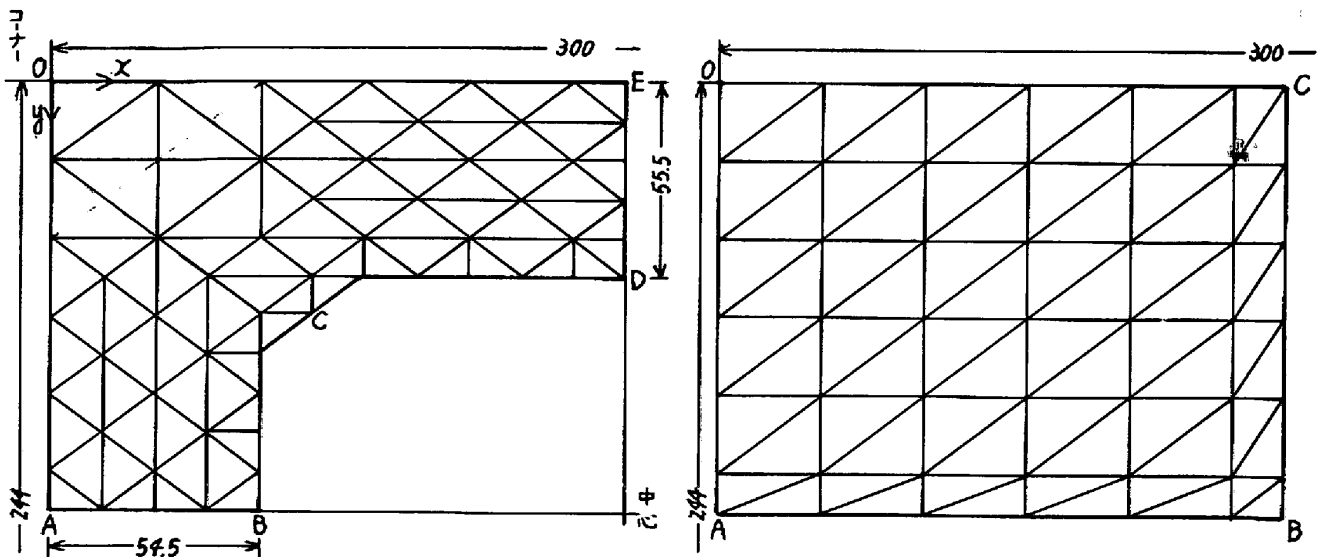


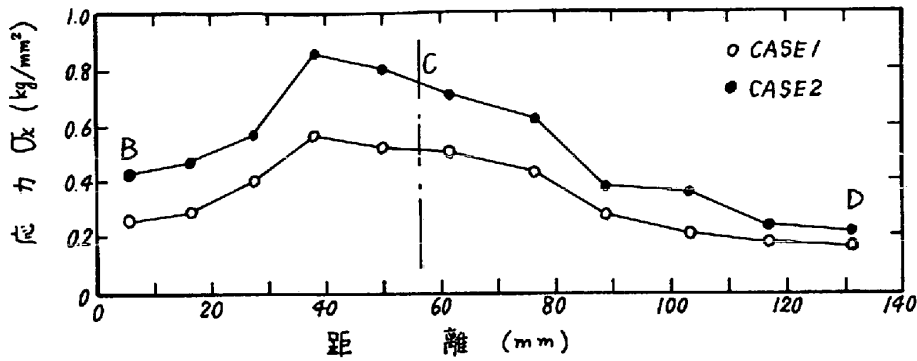
図3.割れと偏析位置に対する変形時期の影響



a) 2次冷却帯通過直後

b) 凝固完了直後

図4.鋳片断面形状と要素分割法



a) 断面内側

3. 熱応力計算

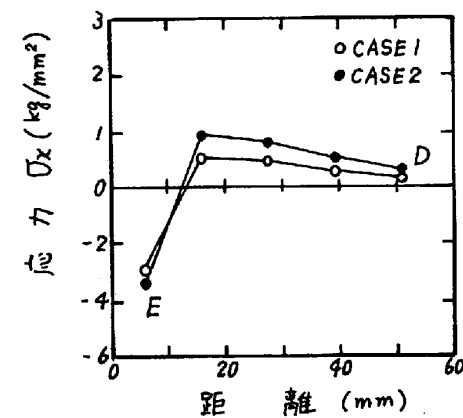
計算の対象は300×244 mmのブルームで材質はSS 41相当とした。この鋳片の水平方向断面につき、応力計算に必要な温度分布と温度変化を数値計算によって求め平面ひずみ問題として有限要素法により計算した。材料の応力-ひずみ曲線はヤング率および加工硬化指数をそれぞれ勾配とする二つの直線式によって近似し、この関係式はポアソン比、降伏応力、線膨張係数とともに温度の関数として与えた。鋳造温度は1550℃、引抜き速度は1.5 m/minとし、発生する熱応力におよぼす2次冷却帯スプレー量の影響を比較するために標準スプレー量のもの(CASE 1とする)とこれを2倍にしたもの(CASE 2)の二通りを行なった。また凝固殻は前述した押し込み法により求めた内部割れ発生温度に相当する厚みまでとした。

3.1 応力計算の位置と断面形状

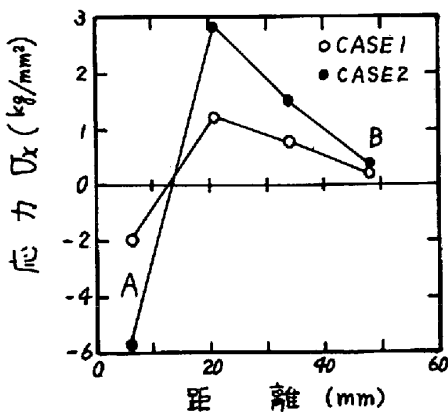
連鋳2片に発生する内部割れの状況を考慮して2次冷却帯通過直後の鋳片表面復熱位置と凝固完了直後の中心部急冷位置について発生する熱応力をそれぞれ求めた。計算は対称性を考慮して鋳片水平断面の1/4について行なった。図4はこの断面形状および要素分割を示したものである。2次冷却帯通過直後の凝固殻厚みは割れ発生温度の位置までとしてa)に示したように直線状におきかえ、また時間にとまらぬ凝固殻の厚み変化は無視した。

3.2 計算結果

1) 2次冷却帯通過直後：初期温度分布と最終温度分布の時間差を20秒としたときに発生した熱応力分布を図5 a), b), c)に示す。図中の縦軸はx軸方向応力



b) ED方向



c) AB方向

図5. 2次冷却帯通過直後の応力分布

は引張、-は圧縮応力を表わしている。a)は図4 a)のBCD方向つまり鋳片内側の応力分布を示したものであるが、鋳片表面全体にわたって復熱した結果、引張応力が発生しており辺中央部からコーナー部に近づくにつれてその値が大きくなっている。CASE 1とCASE 2を比べると表面温度そのも

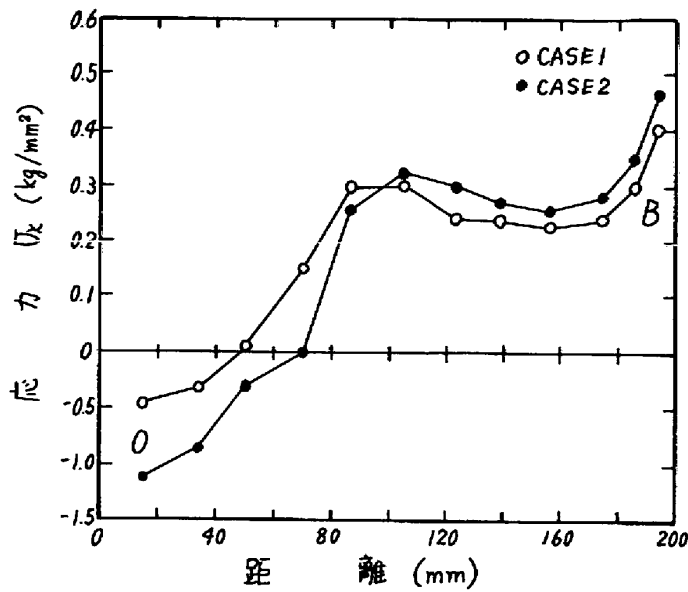


図6.凝固完了直後の応力分布

のが但く表面の復熱の程度が大きいCASE2の方が発生する応力が大きくなっている。b)は凝固殻厚さ方向(ED方向)の応力分布を示したものであるが、表面温度の上昇と内側温度の下降により表面側には圧縮応力が内側側では引張応力が発生したことがわかる。CASE1と2を比べると表面温度の差が30℃程度で復熱の程度もほぼ同じであることから発生する応力も同程度である。c)は同じく凝固殻厚さ方向(AB方向)の分布を示したものであり、b)の場合と同じ傾向がみられる。しかしこの場合には表面温度がかなり低くかつ復熱の程度が大きいCASE2の方が発生する応力も大きくなっていることがわかる。

2)凝固完了直後：初期温度分布と最終温度分布の時間差を20秒としたときに発生した熱応力分布を図6に示す。これは図4b)のOB方向すなわち鋳片コーナー部と中心部を結ぶ方向の応力分布を示したものであるが、コーナー部付近は圧縮応力でありコーナーから50~60mm離れると引張応力になっている。その後はほぼ一定の引張応力を呈するが鋳片中心部ではかなり大きくなっている。CASE1と2では表面温度やコーナー部付近の温度がより低い2の方が圧縮および引張応力とも大きくなっている。

4. 結言

連鋳コ片的温度分布変化にともなう熱応力を計算によって見積った。まとめると、2次冷却帯通過直後の鋳片表面の復熱により鋳片内側に引張応力が発生するがこの応力は表面温度が低く、かつ復熱の程度が大きいとより大きくなる、凝固完了直後鋳片中心の温度降下によって中心部に引張応力が発生する、という結果が得られた。一方ひずみについては応力計算で得られた最大ひずみは内部割れの臨界ひずみより2桁程度小さくなった。このことから連鋳コ片的内部割れが復熱によって生じるとは直ちに結論づけられないが割れ発生の臨界応力が0.4~0.8kg/mm²であると考えれば復熱により割れが起因される可能性があると思われる。この点については基礎実験、応力解析の両面からさらに検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 平居ほか：凝固現象協議会 8337-凝固-46(1968) 2) 川和ほか：鉄と鋼 60, 5409(1974)