

路面鉄道における波状磨耗レールが受ける衝撃について

正員 小野一良*
 正員 楠場重正**
 正員 成瀬忠明***

IMPACT LOADS CAUSED BY WAVY IRREGULARITY ON SURFACES OF RAIL OF STREETCAR LINE

By Dr. Eng., Kazuyoshi Ono, C.E. Member, Shigemasa Hasaba,
C.E. Member and Tadaaki Naruse, C.E. Member

Synopsis: The rails of the streetcar line in Kanazawa City are suffering extremely irregular wear, and the authors have investigated the cause of the wavy irregular wear and estimated the impact imposed on the track. They have measured the bending stresses and the depressions developed in the rails by running streetcar. These records show:

- (a) that the records of the stresses and depressions have many peaks and that the number of the peaks coincides with that of the waves of irregularity over which the wheels run,
- (b) that the impact increases with the speed of the streetcar and reaches its maximum at a speed about 20 km per hour,
- (c) that the system composed of the unsprung weight of the car and the track is forced to vibrate when the car passes over the irregular surface and the wavy irregularity is further developed by the impact loads caused by the vibration.

要旨 路面鉄道のレールに波状磨耗が発生した場合にレールまたはまくら木が電車から受ける衝撃を測定し、衝撃の大きさと電車の速度との関係を求め、これより波状磨耗発生の原因について考察をなした。

1. 緒言

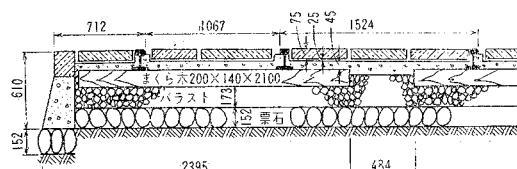
路面鉄道においては波状磨耗の発生が特にいちじるしく、その形状ならびに発生原因に関して從来多くの研究報告が出ている¹⁾。従来の研究は発生原因の探求に重点が置かれており、原因としてレールの材質説と軌道の振動説の二つが対立している。著者はレール面の不整によって軌道に生ずる衝撃を知る目的をもって波状磨耗レールが種々の型式の車両ならびに速度によって受ける曲げ応力、たわみ、その他を測定し、また理論的考察をなした。この結果を数回土木学会誌やその他²⁾に発表したが、波状磨耗レールは客車および空貨車の通過時に特に大きな衝撃を受けることを知った。これより車両のばね下重量、軌道および路盤よりなる体系の固有振動周期と車輪が波状磨耗の1波長を通過するに要する時間とがほぼ一致するとき共振に近い振動をなし、この衝撃によつて波状磨耗が発達するのであろうという結論を得た。

著者がこれまで行なった測定はすべて国有鉄道の線路におけるものであり、従って列車速度も相当に大きなものであったが、今回は路面鉄道における波状磨耗レールが受ける衝撃について解析し、これより波状磨耗の発生原因について考察をなした。

2. 線路状態

北陸鉄道金沢市内線のレールには各所にいちじるしい波状磨耗が発達している。特にコンクリート舗装を行なったところではレールの腹部までコンクリート中に埋め込まれているので衝撃を緩和する能力にとぼしく、波状磨耗の発達がいちじるしいことである。今回測定を行なった箇所は小立野線北鉄本社前付近で40%の上り勾配、半径300 m の右曲線である。図-1に軌道構造を示したが、まくら木下に厚さ17 cm の道床と厚さ15 cm の栗石層があり、路面は板石で舗装されている。現在使用中のレールは昭和10年頃に交換されたPS 50 kg

図-1 軌道構造



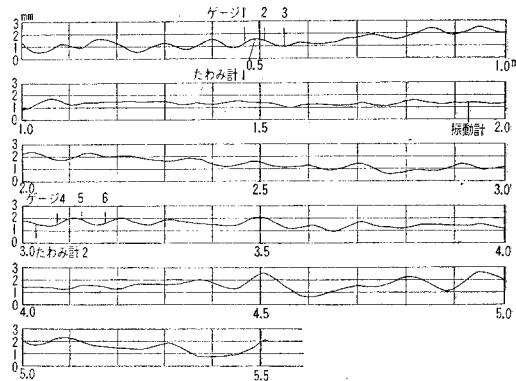
* 工学博士 金沢大学教授、工学部土木工学科

** 金沢大学助教授, "

*** 金沢大学講師, "

レールである。内外レールともにいちじるしい波状磨耗が発達しており、その外側レールの表面の形状を図-2に示した。この図によればレールの全長にわたって波状磨耗が発達しており、その波長は約10cmとなっている。図にゲージを貼りつけた位置を示したが、この付近で波状磨耗の深さは0.5~0.6mmとなっている。

図-2 波状磨耗の形状



3. 車両および運転状態

北陸鉄道市内線には図-3および表-1に示すとく単車とボギー車とが使用されており、この中でボギー車にはモーター2個取りつけのものとモーター4個取りつけのものがある。

これらの車両は測定箇所を15~25km/hで通過するのを例とするが、測定時には特に低速の場合および高速の場合も実施した。

4. 測定結果

(1) レールに生ずる曲げ応力の測定

図-2に示す位置においてレール底部軌間外側面にバークライトゲージKB-1をアミライトにより接着し、電磁型オシログラフによってひずみを記録した。ボギー車前台車通過時の記録の数例を図-4~8に示した。図-4, 5, 6によれば車輪が波状磨耗の山を一つ超えるごとにレールに衝撃を加え、速度15~20km/hのとき特にいちじるしくなることが認められる。しかるに図-7, 8によれば電車の速度が30km/h程度となったとき振動の形状が不規則となり、また衝撃の大きさもまれには大きなものがあるが、一般に小さくなっている。

各車輪の通過時にレールに生ずる曲げ

図-3 電車型式 D:動輪 T:透輪



表-1 電車の軸重および軸距

	全重量 (kg)	軸量(kg)		軸距 (mm)
		動軸	遊軸	
単車	9 200	4 600		1 828.8
ボギー車 2000型式	14 000	3 700	3 300	1 370 + 4 130 ÷ 1 370
ボギー車 2200型式	14 800	3 700		

注：上表の数値は空車時の重量を示す

応力は静荷重による曲げ応力と衝撃による曲げ応力によりなると考えられるので記録の最大の振動振幅をもって衝撃応力とした。電車の速度と衝撃応力との関連を図-9, 10に示した。これらの図によれば電車の速度が15km/hに達するまでは衝撃応力が急に増加するが、その後の増加は比較的にゆるやかである。速度が25km/h以上になったときには衝撃応力が260kg/cm²に達した場合も認められる。各車輪より受ける静荷重によってレールに生ずる曲げ応力が350kg/cm²程度であることに比較すれば、衝撃応力は静荷重による応力の70~80%に達している。車両の速度が30km/h以下でこのように大きな衝撃が軌道に作用するということは從来全然予想されなかつたことで、衝撃に対しては車両の速度よりも

図-4 レール底部に生ずる曲げ応力の測定記録

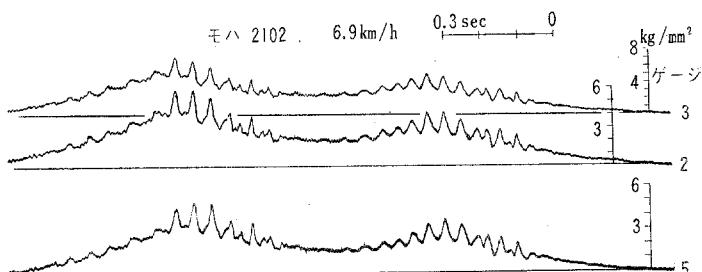


図-5 レール底部に生ずる曲げ応力の測定記録

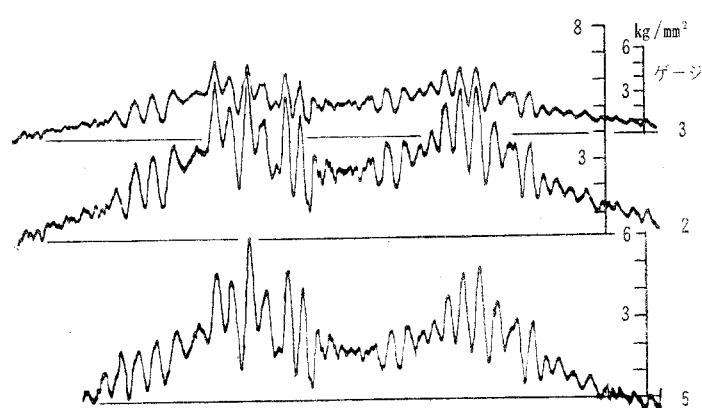
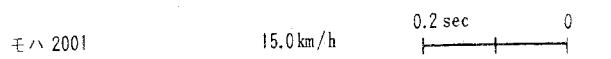


図-6 レール底部に生ずる曲げ応力の測定記録

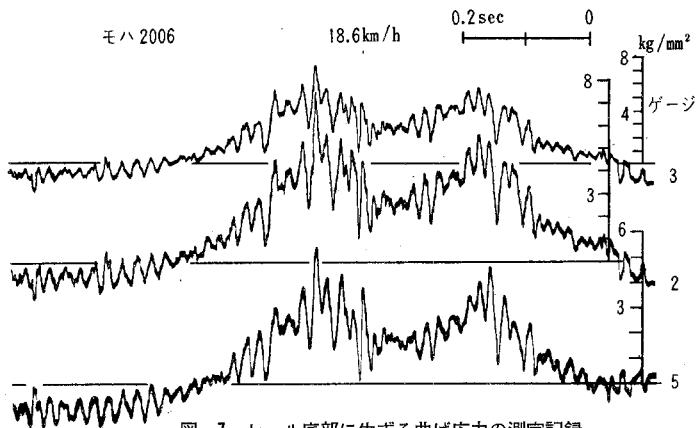


図-7 レール底部に生ずる曲げ応力の測定記録

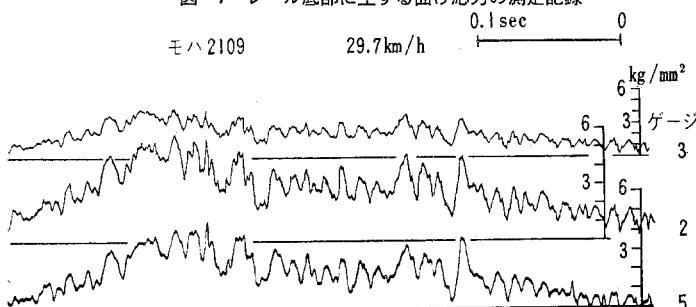


図-8 レール底部に生ずる曲げ応力の測定記録

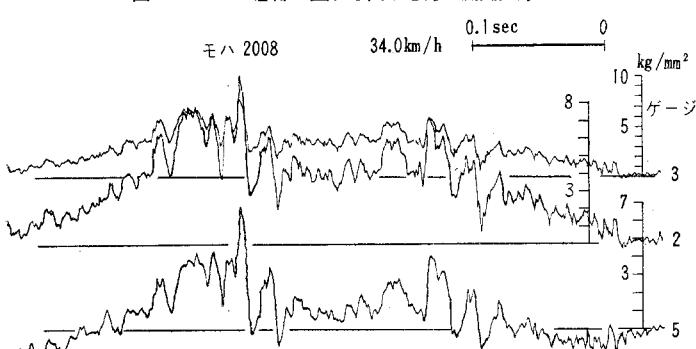
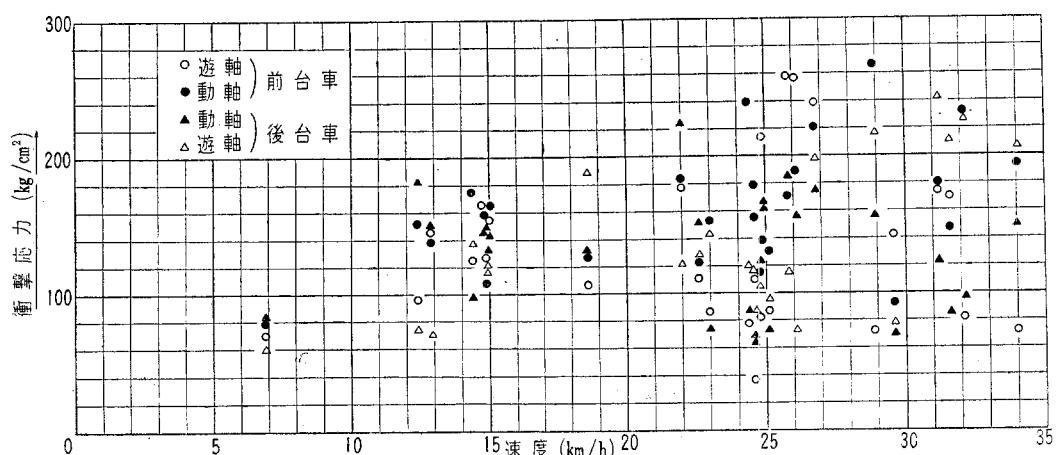


図-9 波状磨耗による衝撃 ポギー車、ゲージ1



しろレール面、または車輪踏面の形状による影響が大きいことを証明している。

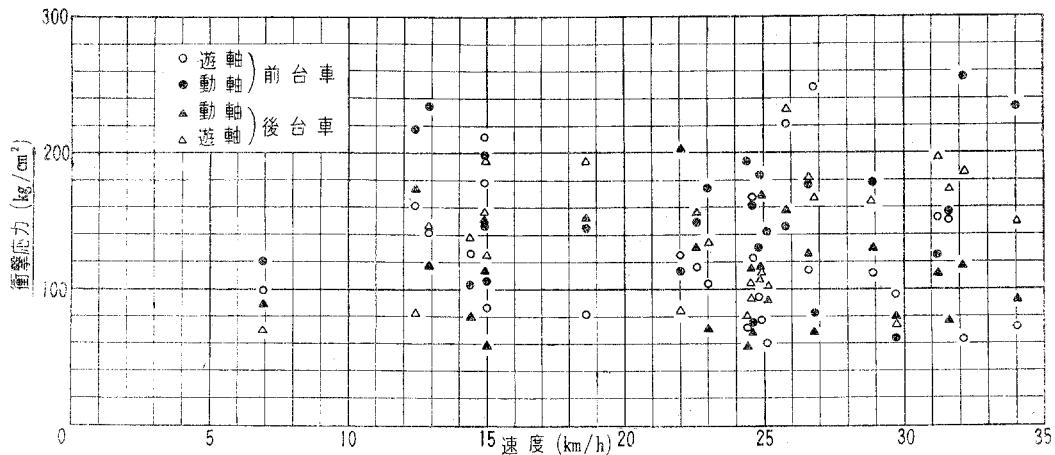
(2) レールたわみの測定

次にたわみ計によってレールに生ずるたわみ運動を記録したが、ボギー車通過時の数例を 図-11~13 に示した。これらの図によれば電車の速度が 20 km/h に達するまではレールはほぼ一定の振巾と周期とを持つ振動をなし、車輪が波状磨耗の山を一つ越すごとにレールは 1 回ずつの上下動をなしていることが認められる。しかしこれ以上の速度に達したときにはレールの振動は不規則となり、各車輪の下で特に大きな振巾が 1 個または 2 個認められるが、ほかは小さい。また振動周期も一定にならない。この中の最大の振動振巾と車両の速度との関係を 図-14 に示した。この図によれば車両の速度が 20 km/h に達するまでは振動振巾が直線的に増加するが、その後はほぼ一定となっている。速度 25 km/h のとき振動振巾は 0.8~1.5 mm となり、全振巾は 1.5~3 mm に達している。これは 図-2 に示した波状磨耗の深さの 3~6 倍であり、車両の通過によって軌道は共振に近い振動状態に達したと見ることができる。

(3) まくら木に生ずる振動速度の測定

波状磨耗を生じたレールの軌間外においてまくら木上に振動速度計を取りつけて車両の速度とまくら木の上下振動速度との関係を調査した。振動記録の一例を 図-15 に示したが、車輪の通過時に大きな振巾を持つ振動が数回くり返される

図-10 波状磨耗による衝撃 ボギー車、ゲージ3



ことが認められる。この周期は車輪が波状磨耗の一一波長を通過する時間にほぼ一致している。これよりまくら木の上下振動速度の最大値と電車速度との関係を求め 図-16 に示した。振動速度の最大値は電車の速度にはほぼ比例することが認められる。波状磨耗の波長を 10 cm として振動振巾を求めれば 0.1~0.15 mm となる。これはレールにたわみ計を取りつけてレールの振動振巾を測定した結果にくらべてはるかに少ないが、振動計を取りつけた位置における波状磨耗が比較的に少なく、かつレールとまくら木との間に土砂がつまつてレールの振動を直接まくら木に伝えなかつたためと考えられる。

図-14 波状磨耗レールに生ずるたわみ振動の振巾 2000型式ボギー車、たわみ計1

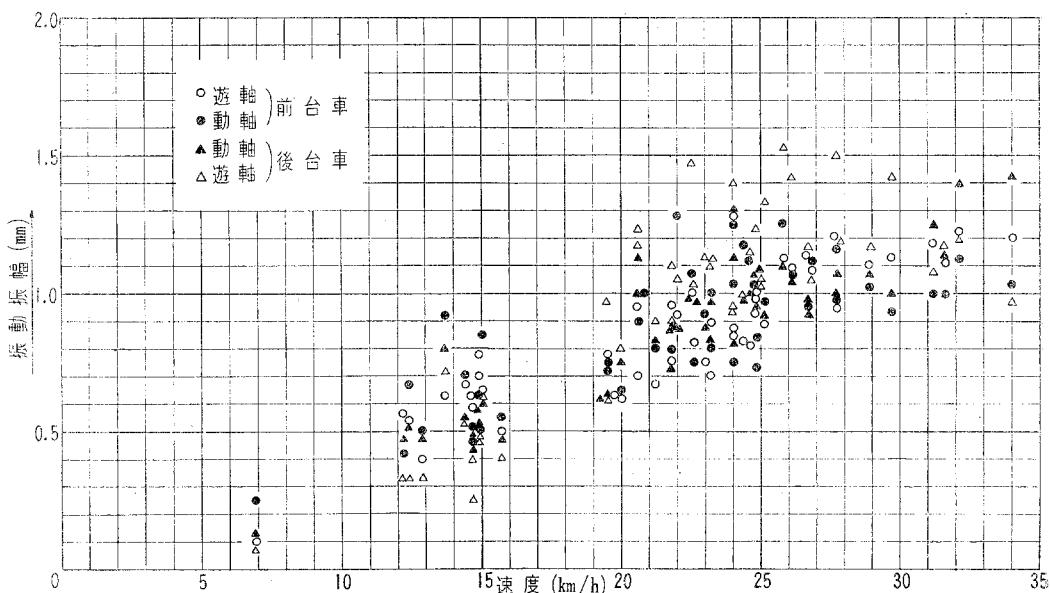


図-11 レールのたわみ測定記録

モハ 2204

15.7 km/h

たわみ計1



図-12 レールのたわみ測定記録

モハ 2002

24.0 km/h

たわみ計1

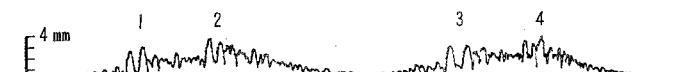


図-13 レールのたわみ測定記録

モハ 2105

31.2 km/h

たわみ計1



5. 考察ならびに結論

以上の測定結果によれば電車の速度が15~20 km/hとなるとき電車のばね下重量と軌道、および路盤の一部とをふくむ体系の上下振動周期と車輪が波状磨耗の1波長を通過するに要する時間とがほぼ一致して共振に近い振動を生ずることが認められる。この場合の振動全振巾は波

図-15 まくら木上で測定した振動速度記録

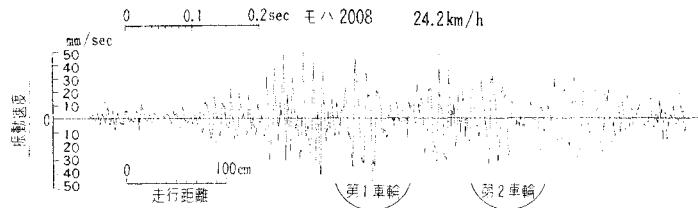
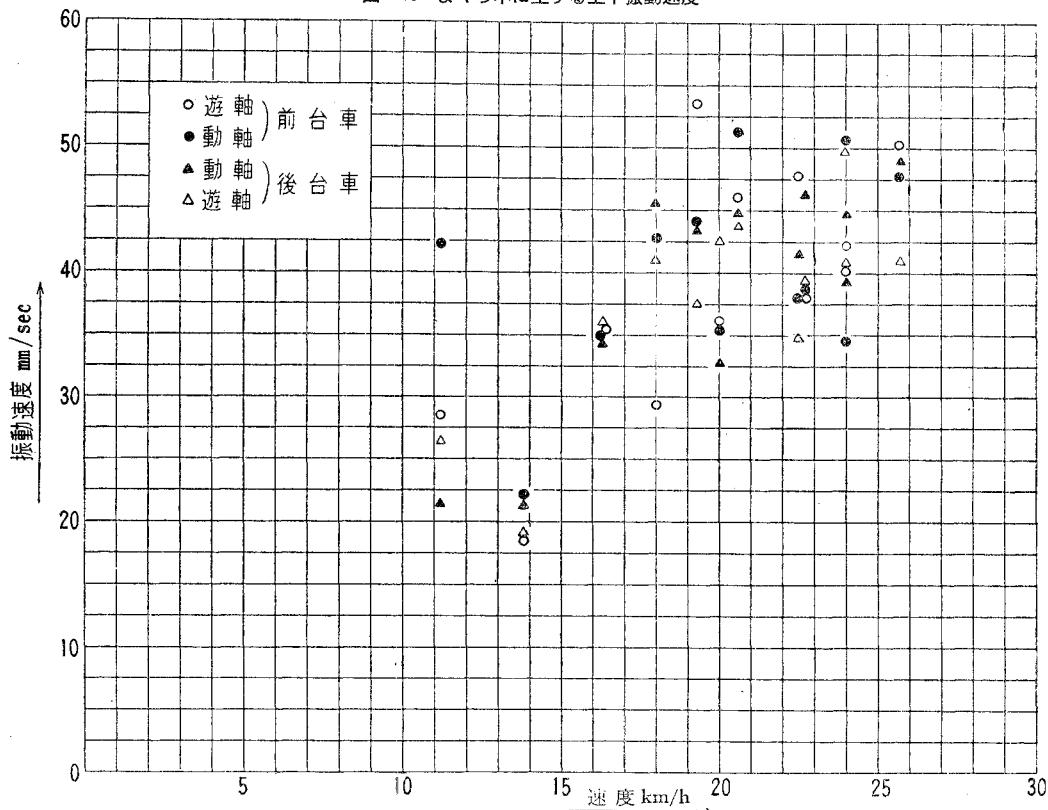


図-16 まくら木に生ずる上下振動速度



状磨耗の深さの3~4倍に達する。この振動にともなって車輪とレールとの間の接触圧力に大きな変動を生じて波状磨耗を発達させるものと考えられる。電車の速度がこれより速くなったときには各車輪の下で特に大きな振動を1または2回生ずるが、この振動が多数くり返されることはない。しかし実際には1地点を通過する電車の速度はほぼ一様であるため、この速度に適応した波長の波状磨耗が作られることになる。

以上は国有鉄道線路のレールに生じた波状磨耗に関して行なった研究とほぼ同一の結論であるが、路面電車においては速度が遅く、かつ軌道の剛性が大きいので波状磨耗の波長が短くなることが証明される。

上述のごとく波状磨耗の発達する原因が車両のばね下重量と軌道とをふくむ体系の振動であるとすれば、この防止方法としてはこの振動を制限することを考えなければならない。国鉄の車両においては重ね板ばねで支えられた2軸貨車が積車のとき板ばねの間の摩擦抵抗によって振動を制限する作用のあることをさきに述べた。しか

るに客車は車体が軸ばねで支えられているため制振作用がほとんどない。路面電車においては車体と台車との間に重ね板ばねが使われているが、軸ばねと併用されているため制振作用はほとんど期待できない。よって波状磨耗の発生を防ぐには軌道構造に制振作用を持たせることにしなければならない。この具体的な設計については今後の研究において解決したい。

本研究は昭和34年度における科学試験研究“車両走行路版に加わる衝撃荷重”的研究の一部として実施したものであり、現場測定に当っては北陸鉄道KK工務課松田氏、高桑氏、外諸氏より多大の御協力を受けていた。ここに厚く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 景山質：軌条波状磨耗の状況及びその原因、土木学会誌第16巻第12号、その他省略
- 2) 小野一良：波状磨耗レールが走行車両より受ける衝撃、土木学会論文集第24号（昭.30.4）
- 3) 小野一良：波状磨耗レールが受ける衝撃の測定、土木学会論文集第55号（昭.33.5）
(原稿受付：1960.10.8)