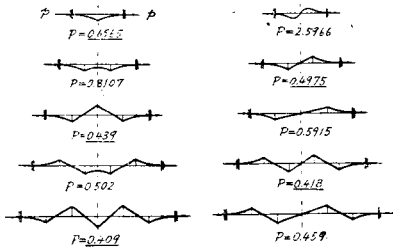


表-10 荷重  $q$  のみが作用する場合の最小根  $Q_{cr}$

$k$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\infty$
斜対称形 挫屈 [ $m=2$ ]	22.96	6.280	3.805	2.550	1.955	1.635	1.442	1.320	1.235	0.9288
正対称形 挫屈	5.344	2.455	1.618	1.315	1.175	1.098	1.053	1.025	1.004	

図-6 の如くであつて挫屈荷重は羽目板が偶数箇なら正対称形挫屈に、奇数箇なら斜対称形挫屈に対応する事が解る。表-10に於ては挫屈荷重は  $k$  の如何に拘らず正対称形挫屈に対応する事を示している。

図-6



結言

本文の結果は  $y$  方向に等間隔を以て並列せる  $x$  軸に平行な中間単純支承線のある場合に適用を拡張出来る。挫屈に際し此等の支承線の間は  $y$  方向に半波形成に相隣る区間は互に反対側に、撓曲するから該支承線に於て曲げモーメントは0である。従つて此等の一区間を採つて本文の公式を適用すればよい。又斯る支承線が無数にあつて中程の区間では  $y$  方向の末端の影響が無視出来る時は此等の末端が固定辺であつても適用出来る。

最後に文部省科学研究費の援助を受けたものである事を附記する。  
(昭.25.10.5)

コンクリートの電気養生法に関する研究

正員 山田 順 治\*  
准員 伊藤 茂 富\*\*

STUDIES ON THE CONCRETE ELECTRICALLY HEATED

(JSCE. Feb. 1951)

Junji Yamada, C.E. Member, Shigetomi Ito, C.E. Assoc. Member

**Synopsis** This paper presents several investigations on the effect of concrete electrically heated.

These investigations were made to obtain much needful informations on the specific resistance of concrete and on the influence that electrical heating may have on the compressive strength, elasticity and bond strength.

**要 旨** 本報告はコンクリートの電気養生施工方法の基礎資料を求めめるための研究の一部で、主として、コンクリートの比抵抗に関する研究、電気養生をしたコンクリートの圧縮強さ、弾性、および附着強度に就き研究した結果について述べたものである。

I. 比抵抗に関する試験

(1) 目的 電力消費量、最大電力、等の見積りをする場合、使用コンクリートの比抵抗を知つて置く必

要がある。本実験においては、コンクリートの組成と比抵抗との関係、電極の大きさを見掛けの比抵抗との関係、鉄筋量および鉄筋の位置と見掛けの比抵抗との関係などにつき実験し、電気容量決定の資料をうる目的のもとに行つたものである。

(2) セメントペーストおよびモルタルの配合と比抵抗との関係に関する試験

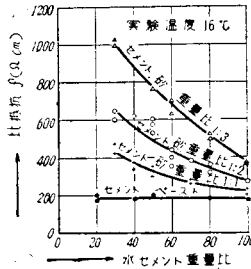
セメントは普通ポルトランドセメント、砂は荒川産のものをを用い、セメントペーストおよびセメント砂重量比 1:1, 1:2, 1:3 のモルタルにつき、水セメント重量比 20% より 100%

\* 建設省土木研究所技官

\*\* //

の範囲で、数種類につき試験した。供試体は 5cm 立方の木製型ワクにつめ、向い合せに 5cm 平方の電極板をあて、瞬間的に電流を通じ、電流および電圧を測定し、 $\rho = \frac{EA}{Il}$  より、比抵抗  $\rho$  を算出した。

図-1 ペースト及びモルタルの比抵抗



その結果を図示すると図-1 の如くである。

この結果から、モルタルの比抵抗はモルタル中のセメントペーストの濃度の影響は余り著しくなく、寧ろ空隙率の如き空間構造の影響が大きいものと思われる。

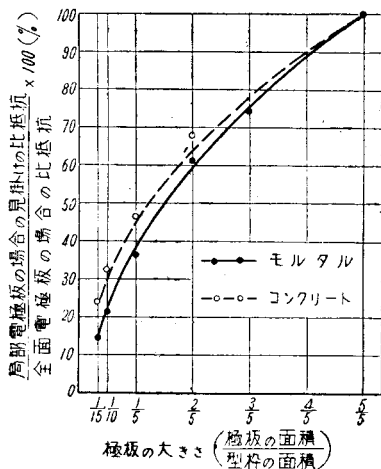
(3) 電極板の大きさと見掛けの比抵抗との関係に関する試験

セメント砂重量比 1:2、水セメント重量比 65% のモルタルおよび粗骨材の最大寸法 30mm、出来上りコンクリート 1m<sup>3</sup> につき、セメント 320kg 使用、水セメント重量比 55% のコンクリートを用いて、電極板を型ワクの相対する面の全面に取付けた場合および局部的に取付けた場合の数種につき(2)の場合と同様な方法で、見掛けの比抵抗を求めた。供試体の大きさはモルタルの場合 5×5×5cm、コンクリートの場合 15×15×30cm である(電極板を取付ける面 15×30cm)。

その結果を図示すると図-2 の如くである。

図-2 より、見掛けの比抵抗は電極板の面積に比例し、型ワクの面積があり、電極板の大きさと見掛けの比抵抗の減少との関係は、モルタルとコンクリートで殆ど同様であるから、配合の如何に関係しないものと思われる。

図-2 電極板の大きさと見掛けの比抵抗との関係



次に細い極板を多数使用する場合、コンクリートの見掛けの比抵抗はどう変化するかについて上記コンクリートを用いて実験した。その結果 2×15cm の電極板 1組を用いた場合の見掛けの比抵抗は 286ohm-cm、2組を用いた場合 290ohm-cm、3組を用いた場合 300ohm-cm であつた。これより見掛けの比抵抗は各細片の面積により決まり、各細片の面積の総和により決まるものでないことが分る。

(4) 挿入鉄筋の位置と比抵抗との関係に関する試験

挿入鉄筋に電力集中するのを防ぐためには電極板と挿入鉄筋との距離をどの位離さなくてはならないかと云う問題を検討するために、電極板とスターラップとの距離を種々変え、(3)の試験に用いたコンクリートおよび型ワク(極板は全面)を用いて、(2)、(3)と同様な方法で見掛けの比抵抗を求めた結果表-1を得た。

表-1 電極板とスターラップとの間隔と見掛けの比抵抗との関係

電極板とスターラップとの間隔 (cm)	比抵抗 (ohm-cm)		
	I	II	III
鉄筋挿入せず スターラップなし	1440	1710	1150
5.5			1260
4.5			1140
3.5			1035
2.0	960	1200	
1.5			675
1.0	800	960	
0.5	375	690	

表-1 によると、挿入鉄筋と電極板との間隔が 1cm の場合の見掛けの比抵抗はスターラップのない場合の見掛けの比抵抗の 55%、2cm の場合は 68%、3.5cm の場合で 86%、4.5cm の場合で 95% となり、挿入鉄筋に電力集中するのを防ぐためには、電極板と挿入鉄筋との間隔を 5cm 以上離すことが望ましい。

(5) 鉄筋量と見掛けの比抵抗との関係に関する試験

鉄筋量により見掛けの比抵抗がどんな影響を受けるかにつき、(2)~(4)と同様な方法で見掛けの比抵抗を求めた結果を図示すると図-3の通りである。

図-3 より見掛けの比抵抗は鉄筋量に余り影響を受けないが、鉄筋の位置により甚だ影響を受けることが分る。

(6) コンクリートの温度と比抵抗との関係に関する試験

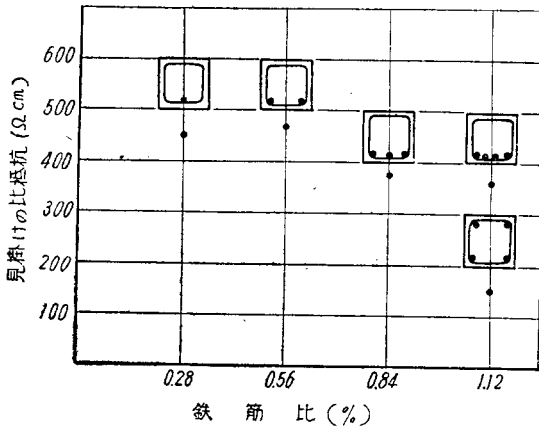
コンクリートに通電を始めてから最初の 45 分間におけるコンクリートの温度と比抵抗との関係を求め、最小自乗法により実験式を求めると次の如くな

る。

$$\rho_{n+t} = \rho_n (1 - 0.015t)$$

但し  $\rho_n, \rho_{n+t}$  は  $n^\circ\text{C}$  および  $(n+t)^\circ\text{C}$  の際の比抵抗。

図-3 鉄筋量と見掛けの比抵抗との関係



II. 温度上昇速度がコンクリートの圧縮強度および弾性係数に及ぼす影響に関する試験

(1) 目的 温度上昇速度について、土木学会制定の「コンクリート電気養生指針 8条 b(3)」に「コンクリートの温度上昇速度は毎時 10°C 以下を標準とす」と規定されている。

上記規定の温度上昇速度値は尙批判の余地があるので、この問題を検討するため、温度上昇速度を種々変 \*

表-3 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 cm	スランブ cm	水セメント 重量比 (W/C)%	コンクリート 1m <sup>3</sup> に用いるセメント量 kg	コンクリート 1m <sup>3</sup> に用いる水量 kg	粗細骨材重量比 (G/S)	コンクリート 1m <sup>3</sup> に用いる表面乾燥飽和状態の骨材重量 kg		
						全	量細骨材	粗骨材
30	4	58	279	161.5	2.5	350	100	250

\*\* (ii) 供試体：供試体の大きさは 15×15×40cm で、型ワクは木製のものを使用した。供試体の数は各々 3 個を 1 組とした。供試体は 2 層に分けてつめ、各層を標準突き棒で 86 回ついた。

(4) 通電 電極板は 15×40cm の錫引鉄板で、型ワクの相対する 2 面に付け、これを両極としてコンクリートに通電した。

電源は 100 ボルトの交流を使用し、可変電気抵抗器を用いて、電圧調整を行い、コンクリートの温度上昇速度を 1 時間につき 2°C, 4°C, 8°C, 10°C, 15°C および 20°C とし、最高温度を 50°C とした。供試体は表面から水分の蒸発するのを防ぐために板で蓋をした。供試体の温度は、各材令のもの 1 個につき、供試体の中央に埋め込んだアルコール寒暖計により測定した。更に供試体内部の温度変化を測定するために、供試体

\* えて、コンクリートの圧縮強度および弾性係数を測定した。

(2) 材料 セメントは普通ポルトランドセメントで「JIS R5210」に合格したものである。

砂は荒川産で、その主な性質は表-2 の通りである。

表-2 砂の性質

試験項目	試験結果
比重	2.63
吸水率 (%)	1.8
単位容積重量 (kg/m <sup>3</sup> )	1555
空隙率 (%)	40.9
洗イ試験 (%)	0.515
有機不純物	標準色よりうすい
粗粒率	2.07

砂利は多摩川産で、比重 2.67 吸水率 0.4% で、板フルイ 10, 20, 30 でフルイ分け貯蔵してあるものを、供試体製作の際一定の割合で再混合して用いたがその単位容積重量は 1791kg/m<sup>3</sup>、空隙率は 31%、粗粒率は 7.02 である。

(3) コンクリート

(i) 配合：コンクリートの配合は表-3】の通りである。 \*\*

内の 3ヶ所に自記寒暖計の感温部を埋め込み測定した。

(5) 試験方法 試験の材令は、標準養生をしたものについては 3 日, 7 日, 28 日であるが、電気養生したものについては 1 日, 7 日, 28 日とした。材令 7 日および 28 日で試験する供試体は通電終了後室温まで冷やし、所定の日まで、恒温水槽中で養生した。圧縮試験の際は、加圧面は極板に接していない面即ち 15×15cm の面を上下とし、変形測定にはマルテンスミラーエクステンソメーターを用い、その変形を 1/5000 まで測定した。

(6) 試験結果およびその考察

(i) 供試体の温度：供試体相互の温度の差異および供試体内の温度の差異は通電時間の経過と共に大きくなり、温度上昇速度と温度差との関係は表-4 の如く

である。表-4 より供試体相互の温度差および供試体内部の温度差は温度上昇速度と大体比例関係にある。

表-4 温度上昇速度と温度差

供試体の種類	温度差		従つてコンクリートを可及的均等に加熱する上からは温度上昇速度はできる限り小さくすることがよい。
	供試体相互	供試体内部	
温度上昇速度 °C/hr	2	2.0	
	4	3.0	
	8	3.5	
	10	7.0	
	15	9.5	
	20	11.0	

(ii) 圧縮試験：各供試体につき圧縮試験をした結果は表-5 の通りである。表-5 より温度上昇速度は圧縮強度に余り影響を及ぼさないことが分る。又電気養生したコンクリートは、温度上昇速度の如何に拘らず材令1日で標準養生をしたコンクリートの材令4日の圧縮強度に匹敵する強度をもつが、材令7日では標準養生をしたコンクリートの圧縮強度より15%低下し、更に材令28日では30%低下することが分る。

表-5 圧縮強度

番号	種類 (温度上昇速度 °C/hr)	圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			
		成形後の日数			
		1日	3日	7日	28日
1	2	48.5		96.1	140.8
2	4	48.9		100.9	141.0
3	8	56.0		96.5	127 <sup>(1)</sup> 153 <sup>(2)</sup>
4	10	46.5		98.1	127.7
5	15	56.2		88.8	131.0
6	20	56.2		93.8	135.0
標準養生			20.0	124.0	192.0

(1) 材令21日で試験 (2) 材令35日で試験

(iii) 弾性係数：圧縮に対する応力と変形率の関係は、温度上昇速度の相違により、圧縮強度の場合と同様に著しい影響を受けない。電気養生をしたコンクリートは標準養生をしたコンクリートに比し、材令7日、28日の何れの場合でも、可塑性が大きく、材令28日の応力と変形率の関係を求めると次の如き実験式が得られる。即ち標準養生したコンクリート  $\sigma = 20.922 \times \epsilon^{0.667}$ 、電気養生したコンクリート  $\sigma = 29.420 \epsilon^{0.739}$  である。

表-7 コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 cm	スランパ cm	水セメント重量比 (W/C)%	コンクリート1m <sup>3</sup> に用いるセメント量 kg	コンクリート1m <sup>3</sup> に用いる水量 kg	粗骨材重量比 (G/S)	コンクリート1m <sup>3</sup> に用いる表面乾燥飽和状態の骨材重量 kg		
						全量	細骨材	粗骨材
30	7	55	322	177	2.2	1911	598	1313

更に割線弾性係数  $E_s$  および切線弾性係数  $E_T$  を求めると表-6 の如くである。

但し切線弾性係数  $E_T$  は次式により求めた。即ち

$$\sigma = K\epsilon^n$$

$$E_T = \frac{\delta\sigma}{\delta\epsilon} = nK\epsilon^{n-1} = \frac{nK}{\epsilon^{1-n}}$$

$$\text{又 } E_s = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{K\epsilon^n}{\epsilon} = \frac{K}{\epsilon^{1-n}}$$

$$\therefore E_T = nE_s$$

表-6 割線弾性係数( $E_s$ )および切線弾性係数( $E_T$ )

標準養生した供試体				電気養生した供試体			
破壊応力の百分率 (%)	圧縮応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_T$ (kg/cm <sup>2</sup> )	破壊応力の百分率 (%)	圧縮応力 (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_s$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_T$ (kg/cm <sup>2</sup> )
10	19.2	688000	459000	10	14	697000	515000
20	38.4	586000	391000	20	28	432000	319000
30	57.6	397000	261000	30	42	297000	219000
40	76.8	343000	229000	40	56	268000	198000
50	96.0	308000	205000	50	70	248000	183000

(iv) 所要電力量：本実験でコンクリート供試体を加熱するに要した電力量は、コンクリート 1m<sup>3</sup> につき温度上昇速度 2°C/hr のとき 68KWH, 4°C/hr のとき 112KWH, 8°C/hr のとき 133KWH, 10°C/hr のとき 167KWH, 15°C/hr のとき 154KWH, 20°C/hr のとき 180KWH であつた。

### III. 電気養生が附着強度に及ぼす影響に関する試験

(1) 目的 鉄筋コンクリートを電気養生により施工した場合、挿入鉄筋に電流が集中し、これに接するコンクリートが過熱され、鉄筋とコンクリートとの附着力が減少しないかと云う問題は最も重要なものである。

この問題につき検討し、鉄筋コンクリートを電気養生により施工することの適否および施工方法に対する資料をうる目的で行つたものである。

(2) 材料 セメントおよび砂は II. で用いたものを使用し、砂利は相模川産で、比重 2.67, 吸水率 1.4% で、各粒徑別に貯蔵してあるものを再び混合して用い、その単位容積重量は 1750kg/m<sup>3</sup>, 空隙率は 34.5% 粗粒率は 7.05 である。

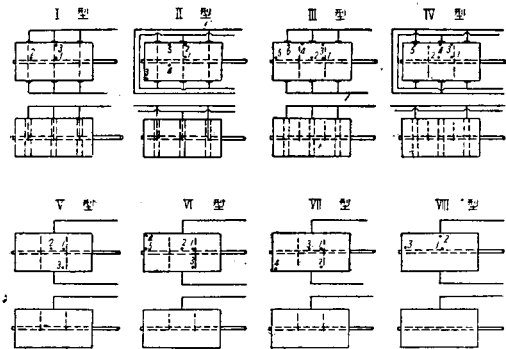
### (3) コンクリート

(i) 配合：コンクリートの配合は表-7 の通りである。

材令28日の圧縮強度は 282kg/cm<sup>2</sup> である。

(ii) 供試体: 供試体は図-4 に示す如く 15×15×30cm の梁形供試体の中心に直径 16mm 長さ 70cm の丸鋼および2個或は3個のスターラップを挿入したものである。丸鋼の一端はコンクリート面から約1cm だけ突き出させておいて棒鋼端の滑動するのを測定するに便にした。

図-4 供試体



(4) 通電電源として

は 100ボルトの交流を使用し可変電気抵抗器を用いて、連続通電し、且つコンクリートの温度上昇速度および最高温度を調節した。電極が局部的なもの即ち I-IV型と全面のもの即ち V-VIIIの2組に分け、各組を1つの可変電気抵抗器に連結したので、スターラップの相違により温度上昇速度および最高温度を同様の条件に置くことができなかった。温度上昇速度および最高温度の大体の値は表-8 の通りである。

表-8 各供試体の温度上昇速度および最高温度

供試体の種類	温度上昇速度 (°C/hr)	最高温度(°C)
I	6	49
II	6	45
III	14*	48
IV	4	40
V	5	45
VI	4	40
VII	2.5	30
VIII	2	22

(\*この値の大きいのは 結核の不注による)

供試体の温度は図-4 に示してある位置でアルコール寒暖計により測定した。供試体は24時間通電の後、室温まで冷却するのをまつて、養生水槽にいれ材令 28日まで養生した。

(5) 試験結果およびその考察

(i) 電気抵抗: 各供試体の電気抵抗は、通電後3~5時間で最も減少し、その後徐々に増加する。通電開始の際および最も減少した際の電気抵抗を表示すると表-9 の通りである。

I型およびIV型の見掛けの比抵抗を求めて見ると 216n/cm および 960n/cm となり、その比は 1:4.4 となるから、I.(3) から鉄筋が全く挿入されていない場合の関係を求めて見ると 1:3.9 となり、比較的良くあ

表-9 電気抵抗

供試体の種類	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
最小抵抗に至る時間	3	4	1	3	5	5	4	4
通電の際の(Ω)抵抗	36	35	1	52	23	32	40	57
最小の抵抗(Ω)	23	25	1	44	15	22	31	46
最小抵抗通電時抵抗	0.64	0.72	1	0.84	0.63	0.69	0.75	0.87

つて居り、又温度と比抵抗との関係も I.(6) の実験

表-10 附着強度および標準養生をした供試体の附着強度との百分率

供試体の種類	標準養生をした供試体 (N)	電気養生をした供試体 (E)							
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
附着強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	36.9	31.3	21.2	31.7	29.3	26.2	35.0	33.5	33.0
$\frac{E}{N} \times 100(\%)$		84.8	57.5	86.4	79.5	71.0	94.8	90.8	89.4

式的結果と大体一致する。

(ii) 附着強度: 標準養生をした供試体および電気養生をした供試体各種類4個ずつにつき、材令 28日 で引き抜き試験をした結果を表示すると表-10の通りである。供試体内部の測温結果によると、その温度差は、大体 10°C 程度で、最高温度は電極板の位置で、鉄筋挿入による影響は余り大きくなかつた。

表-10によると、電気養生をした供試体の附着強度は標準養生をした供試体に比し、大体 5~20%の強度減少で、II型の如く 40% 以上強度の減少しているものは、滑動応力が殆ど0であつた事実から考えても、丸鋼の周囲極く小部分が過熱されたためと思われる。

更に電極の位置即ち丸鋼の方向と電流の方向とに関しては、決定的なことは言えないが、棒鋼の方向と電流の方向が直角になる様に電極板を配置することが望ましいと思われる。

挿入鉄筋と電極板の距離は 1cm 以上に保てば、その附着強度は 10% 程度の減少ですむことが分るが、短絡を防止し、安全な工事をするために、5cm 程度離すことが望ましい。

(iii) 電力消費量: 本実験において, コンクリート供試体の加熱に要した所要電力量は, 1m<sup>3</sup>につき 63~136KWH で, 電力費は僅小で, 経済的に施工することができる。

IV. 結び

以上種々行つた試験結果より, 寒中コンクリートの

一工法としての電気養生は, 施工の容易さ, 経済性, 等の上から有利な工法と思われるが, 耐久性に関する問題等重要な問題がまだ未解決であるから, 更に研究の上実際化すべきであると思われる。

尙本研究は, 文部省科学試験研究費より補助を得た。茲に記して謝意を表する。(昭.25.10.1)

傾斜面の下に掘ったトンネルの周辺応力について<sup>1)</sup>

准員 伊藤 富雄\*

ON THE STRESS DISTRIBUTION AROUND A TUNNEL DRIVEN IN THE GROUND HAVING AN INCLINED SURFACE.

(JSCE. Feb. 1951)

Tomio Ito, C.E. Assoc. Member

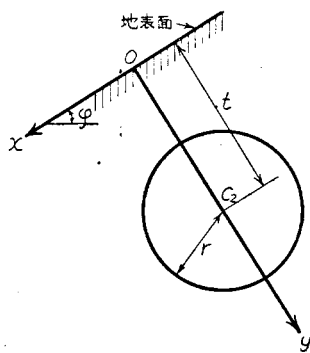
**Synopsis** In this paper, the results of theoretical and numerical calculations on the stress distribution around a tunnel driven in the ground having an inclined surface are described. These calculations are performed by using bipolar coordinates and two-dimensional elastic theory under the assumption that the ground is homogeneous and elastic.

要旨 弾性的な地山内に1つの円形トンネルを掘つた場合, 地山の表面が傾斜しているならば, 水平な時に比べて応力分布が如何に変るかを求めたのが本文である。この問題を解くにあつては, 地山は均質な完全弾性体であるものとし, 双極座標を用い2次元弾性理論によつた。

1. 初応力

地山は均質な完全弾性体とし, 図-1 のように座標軸をとつて  $w$  を地山の単位重量とする。次に地山内の

図-1 符号と座標軸  
Symbols and Coordinate axis



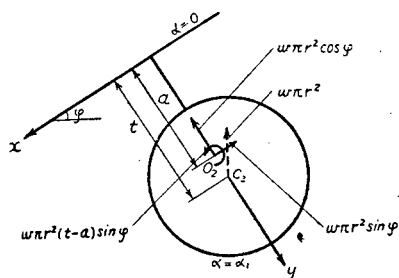
$$\left. \begin{aligned} \hat{x}_1 &= -wysin\phi \tan\phi \\ \hat{y}_1 &= -wy \cos\phi \\ \hat{x}_1 &= -wy \sin\phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

しかるに  $\hat{y}_1$  による  $x$  方向の変位は 0 であるから,  $\hat{x}_1 = \eta \hat{y}_1 \cos\phi$ , 又  $\eta = \frac{1}{m-1}$ ,  $m$ : ポアソン数を (1) 式の第1式に加えると, トンネルを掘る前の重力による初応力は結局次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \hat{x}_x &= -wy(\sin\phi \tan\phi + \eta \cos\phi) \\ \hat{y}_y &= -wy \cos\phi \\ \hat{x}_y &= -wysin\phi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

2. トンネルを掘つたために生ずる応力の変化  
トンネルを掘つてズリを運び出すと, トンネルの中にあつた地山の重量がそれだけ失われることになる。従つて図-2 のようにトンネルの中心  $O_2$  において鉛

図-2 トンネルを掘つた後の力の関係  
Forces after Tunnel-driving



直上向き力  $w\pi r^2$  を考えればよいのであるが, その代りに双極座標の原点  $O_2$  において図-2 の如く2つの力と1つのモーメントを作用させてもよい。しかるにかゝる力によつて弾性体内に生ずべき応力を与える。

1) 土木學會第5回年次學術講演會(昭24. 5.21)にて講演  
\* 大阪大学助教授, 工学部構築工学教室