

(77) 液状化の時間経過を考慮した共同溝の応答解析について

八代工業高等専門学校 正員 ○ 淵田邦彦
 熊本大学工学部 正員 秋吉 卓

1. まえがき 地震時の地盤液状化がライフライン構造物に及ぼす影響について活発に研究が進められている¹⁾。ライフライン構造物の中でも、共同溝は今後多数の建設が予想され、とくに軟弱な地盤中に構築される場合には、地震時の液状化による被害も予想されるので、設計において十分な配慮が必要と考えられるが²⁾、共同溝の液状化時挙動については不明な点も少なくない。例えば、液状化による側方流動などの地盤の大変形が共同溝の挙動に及ぼす影響などは重要な課題であろう。そこで本研究では、液状化の時間経過に伴う共同溝の挙動に関する準静的な解析手法を提案し、共同溝の液状化に対する安全性について検討するものである。

2. 液状化の時間経過 液状化時に地盤永久変位の生じた例が報告されており、永久変位発生メカニズムやその定量的な検討が活発に研究されているが^{3)~5)}、液状化の開始から永久変位発生までの厳密な解析は非常に困難な問題である。ここでは液状化前の通常の弾性振動の状態と完全液状化に至り永久変位の生じた状態とをそれぞれ液状化の最初と最終状態であるとし、その間には両者の中間的な、すなわち不完全液状化の状態があるものとし、液状化の時間経過に伴う地盤の状態を弾性状態、不完全液状化、永久変位発生⁶⁾の3つの状態に単純化して、それぞれの状態の静的な解析により、時間経過に伴う共同溝の挙動を調べる。

3. 解析手法の概要 上述の3つの状態を表わす指標として、ここでは、地盤反力係数と地盤の最大変位を考え、両者の関係を図1のように仮定する。(A)は普通地盤の地盤反力係数²⁾としてガス導管設計指針⁶⁾と同じ程度であるとし、(C)は完全液状化時には地盤反力係数が普通地盤の1%以下に低下するものとし、最大2mの永久変位を仮定する。(B)は両者の中間的な状態である。各状態における共同溝の挙動を解析する方法として、図2のように、共同溝を弾性床の上のはりに置き換え、地盤ばねで支えられた共同溝本体と、伸縮ばねと回転ばねによる継手とでモデル化し、地盤変位が地盤ばねを介して共同溝に強制的に作用するときの共同溝の軸直角方向の基礎方程式を、修正伝達マトリックス法⁷⁾により静的に解析した⁸⁾。

4. 数値計算の諸量 共同溝および地盤の諸量は、表1に示す値を標準値とした。継手の伸縮および回転ばねの標準値は、沈埋トンネルの値を参考とした⁹⁾。また地盤ばねは上述の各状態とも完全塑性型の非線形特性をもち、塑性状態への限界の相対変位を3mmとした。共同溝モデルは図3のように30mの函体が20本結合した、総延長600mとし、液状化時には、液状化範囲において側方流動による軸直角方向の水平変位が一様に作用するものとした。上述の各状態における入力地盤変位は共同溝の延長全体を液状化の範囲とする場合には図4のような台形分布で与えられる。また共同溝断面は図5のような配筋とし、鉄筋量としてD19を40本使用した場合の、共同溝断面の応力を算定した。

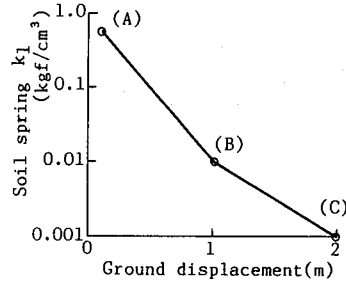


図1 地盤ばね定数と地盤最大変位との関係

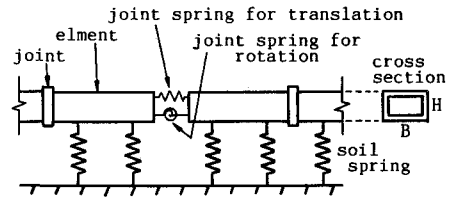


図2 共同溝のモデル化⁸⁾

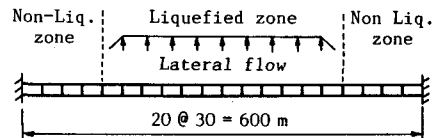


図3 共同溝モデル (平面図)

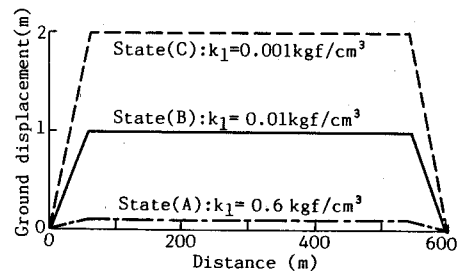


図4 地盤変位分布のモデル

表1 共同溝・地盤の諸元

断面寸法 (幅(B)×高さ(H)×厚さ(D))	4.0×4.0×0.4(m)
弾性定数 E_c	$2.6 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$
共同溝エレメントの長さ	30.0 m
継手伸縮ばね定数 k_{t0}	$3 \times 10^5 \text{ tf/m}^2$
継手回転ばね定数 k_{r0}	$3 \times 10^7 \text{ tf} \cdot \text{m/rad}$
地盤ばね定数 (軸直角方向) k_{y0}	9600 tf/m^2

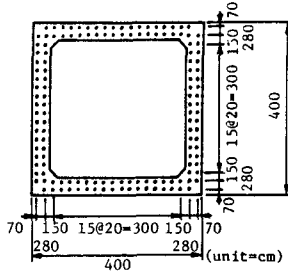


図5 共同溝横断面の配筋図

5. 計算結果と考察 図6は表1の共同溝の諸量が標準値の場合に、地盤の各状態(A),(B)および(C)における共同溝の応答分布を図示したものであり、(a),(b)および(c)はそれぞれ共同溝軸直角方向変位、継手回転角および継手伸縮量を、また(d),(e)および(f)はそれぞれコンクリート曲げ応力、コンクリートせん断応力および鉄筋の曲げ応力を表わしている。(a)より共同溝は、状態(A)では地盤変位にほぼ追従し、状態(B)では中央部約100m以外の所ではすべりが生じて地盤変位より小さくなっている。さらに状態(C)では、状態(B)の2倍の地盤変位に対して共同溝変位は最大で状態(B)の約1/2となっており、完全液状化で地盤ばねが軟化し地盤変位は共同溝に伝わりにくくなっている。図6(b),(c)の継手部の変位は、状態(B)が最も大きく、回転角の最大値は両端部で、伸縮量の最大値はそれよりもやや中央よりの所で生じているが、継手変位量そのものは問題にならないほど小さい。一方、(d),(e),(f)よりコンクリートおよび鉄筋の応力は、いずれも両端部付近で大きくなっており、液状化・非液状化領域の境界付近の応答値に注意する必要がある。また地盤剛性の高い状態(A)では両端部付近にのみ応力が集中するが、液状化が生じた状態(B),(C)では両端部付近だけでなく中央部へも応力が分散されている。これは(a)の変位分布の形状が状態(A)から(B),(C)となるに従ってなめらかになっているためであり、剛性の低下による変形状態の違いを反映している。(d),(f)の、コンクリートと鉄筋の応力の最大値は、状態(A),(B),(C)で2倍程度の差が生じているが、地盤状態の違いに比べて最大応力値の差はそれほど大きくないようである。(e)のせん断応力は状態(A)が極端に大きく、普通地盤においてはせん断応力に配慮しておかねばならないであろう。ところで、「共同溝設計指針」²⁾によれば、コンクリートの圧縮、せん断および鉄筋の引張応力の許容値はそれぞれ105, 5.4, 2700kgf/cm²であり、図6(d),(e),(f)中の最大応力値と比較すると、コンクリートの圧縮応力は許容応力内に納まるが、コンクリートせん断応力および鉄筋引張応力は許容応力を大幅に上廻っており、地震時の安全性を確保するには何らかの対策が必要である。

図7は、図6における共同溝断面の応力を緩和するために、表1の共同溝の諸量の中で継手のばね剛性を標準値の1/100に変えた場合の結果であり、(a)~(f)は前図6と同様の共同溝の応答分布を表わしている。(a)の共同溝変位は、

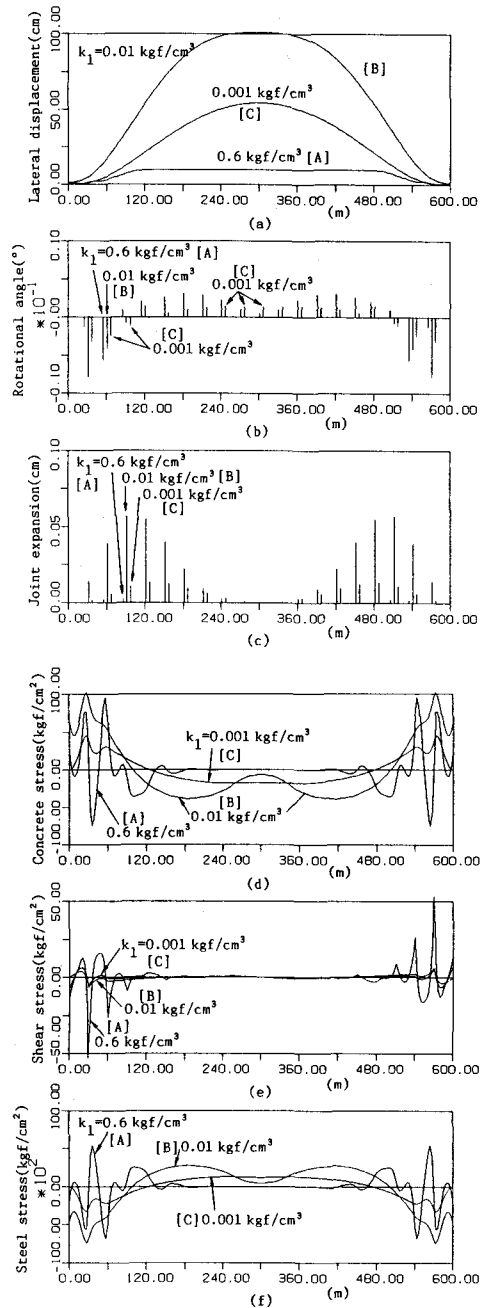


図6 液状化時間経過に伴う共同溝の応答分布 (継手ばね剛性 k_{t0} , k_{r0})

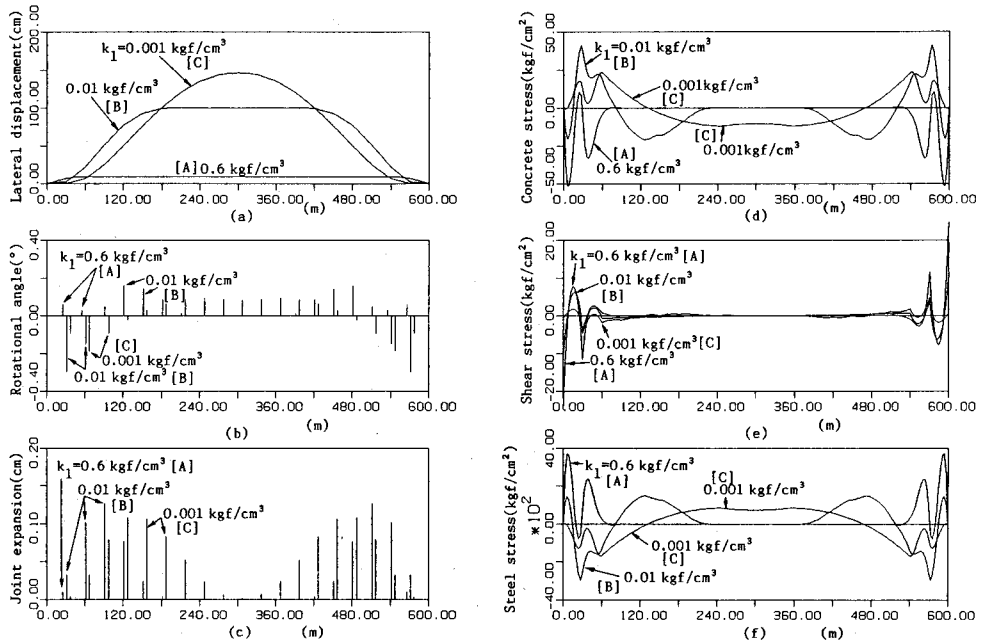


図7 液状化時間経過に伴う共同溝の応答分布 (継手ばね剛性 $k_{t0}/100, k_{r0}/100$)

図6 (a)の場合よりも、地盤変位に追従しやすくなっており、とくに状態(C)では2.0mの地盤変位に対して、共同溝の最大変位は約1.5m程度にまで達している。(b),(c)の継手部の変位は、前図6 (b),(c)の分布形状とほぼ同様の傾向であるが、(a)の地盤変位は継手部に吸収されやすくなり、図6 (b),(c)の場合よりも継手の回転角および伸縮量ともに2~4倍程度大きくなるもの、いずれも問題になるような大きさではないといえる。一方、(d),(e),(f)の共同溝断面の応力については、各図とも、状態(A),(B),(C)における分布形状が、前図6とほぼ同様の傾向となっているが、応答のレベルはそれぞれ図6の結果の50%程度以下まで低下している。すなわち断面の応力は、継手の剛性を低下させることでかなり緩和されており、それなりの効果が期待できるが、(e)のコンクリートせん断応力と(f)鉄筋の応力の最大値はそれぞれ許容応力の2倍程度の応答を示している。これより、継手部の構造だけで応力の負担を解放するには、継手の剛性を標準の場合より相当柔らかくする必要があり、継手剛性の選択には、なお検討を要するといえる。

次に図8は、共同溝と地盤の諸量は標準値とし、地盤ばね剛性分布を変化させて、液状化による永久変位発生範囲を60~480mまで変えたときの、共同溝の各応答値の最大値を明示したものであり、(a)~(d)はそれぞれ共同溝の変位、共同溝断面における、コンクリートの圧縮応力、せん断応力、鉄筋の応力の最大値を表わしている。地盤状態は実線が(B)、破線が(C)を表わしており、(A)の普通地盤の場合は、参考のため一点鎖線で示した。このときの入力地盤変位の最大値は、前図6、7と同様、図4の地盤変位と同じものを与えている。図8 (a)より、液状化の範囲が狭くなるほど、その範囲の共同溝の剛性が、見かけ上、地盤の剛性よりも相対的に大きくなるので、共同溝の変位は減少し、100m以下の液状化範囲では、20cm以下の低い値にとどまることが示されている。このとき継手の変位は液状化の範囲が狭くなると小さくなっているが、継手変位は応答量そのものが小さいので、液状化発生範囲の継手変位に対する効果も小さく、ここでは省略した。(b)~(d)の各応力の最大値は、液状化・非液状化の境界付近に生じたが、液状化発生範囲にある共同溝の見かけ上の剛性と地盤剛性との相対関係によって、各応力の最大値は、液状化発生範囲の長さに対して、200~300mの範囲でピークを有する傾向となっている。これより共同溝断面の応力に関して、液状化の発生範囲は300m程度の場合までを検討しておけばよいことになる。この計算例では、コンクリートの圧縮応力は許容応力程度以下であるが、コンクリートのせん断応力と鉄筋の応力とは、液状化発生範囲の長さの大部分で許容応力を大きく上回っている。逆に100m程度の液状化による側方流動に対しては、応答値は許容応力程度かそれ以下に低下しているので、100m程度までの液状化範囲においては、共同溝の安全性が確保されるといってよいであろう。

図9は継手のばね剛性を標準値の1/100に変えた場合の、共同溝断面の応力最大値を液状化発生範囲の長さに対して明示したもので、(a)~(d)はそれぞれ、図8 (a)~(d)と同じ共同溝断面の応力に対応している。各図よ

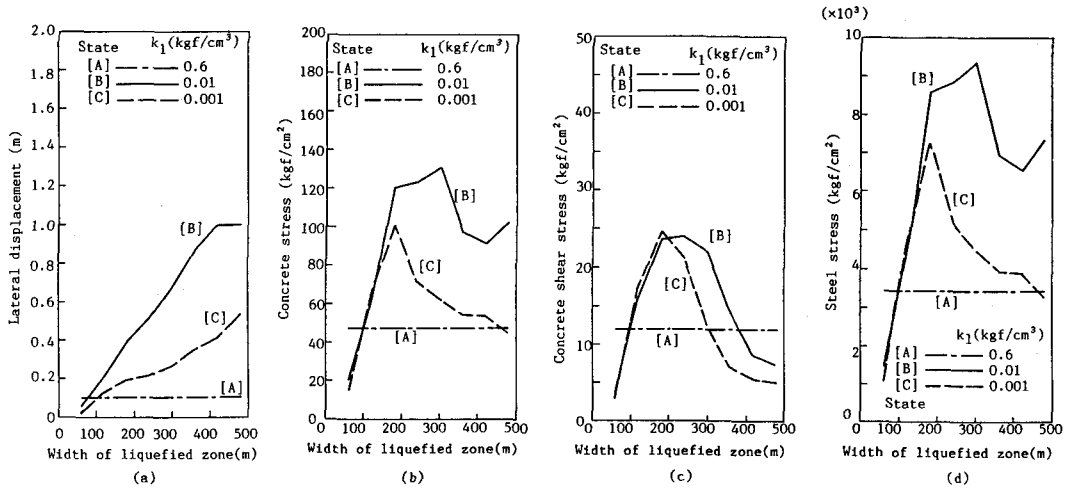


図8 液状化発生範囲に対する共同溝の最大応答（継手ばね剛性 k_{t0} , k_{r0} ）

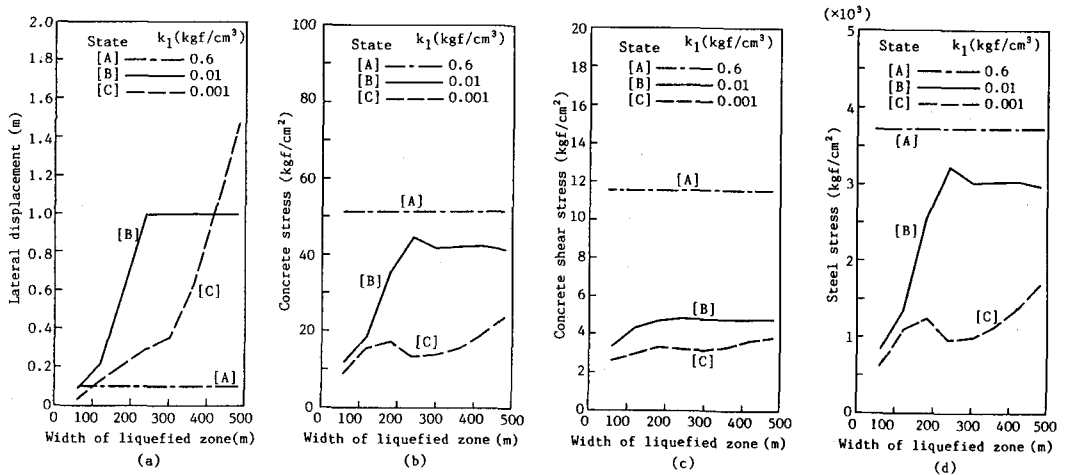


図9 液状化発生範囲に対する共同溝の最大応答（継手ばね剛性 $k_{t0}/100$, $k_{r0}/100$ ）

り、液状化範囲が狭くなるに従い、断面の各応力は減少する傾向にあることや、液状化時のコンクリートの応力は許容応力以内に納まること、鉄筋の応力は状態(C)の完全液状化時には許容応力以下となるが状態(B)では液状化範囲200m以下で許容応力以下になることなどが示されている。これより、液状化発生範囲が200m程度であれば、継手剛性を標準値よりも柔らかくする方法で側方流動に対する安全性を高めることが可能といえる。

6. まとめ 以上のように、本研究では、液状化の時間経過に伴う地盤状態の変化を単純化して別々に解析する方法により、液状化/非液状化の境界近辺における断面応力の増大は、完全液状化時よりも不完全液状化時の場合が大きいことなど、共同溝の液状化時挙動特性のいくつかを明らかにした。

参考文献 1) 安田 進: H1 年度科学研究費 (一般研究 (B)) 成果報告書, 1990. 2) 日本道路協会: 共同溝設計指針, pp.52~80, 1986. 3) 安田 進・他: 第25回土質工学研究発表会講演集, pp.1041~1042, 1990. 4) 宮島昌克・他: 第25回土質工学研究発表会講演集, pp.1043~1044, 1990. 5) 松本秀應・他: 第25回土質工学研究発表会講演集, pp.1045~1046, 1990. 6) 日本ガス協会: ガス導管耐震設計指針, pp.175~182, 1982. 7) 中村秀治: 土木学会論文報告集, 第289号, pp.43~53, 1979. 8) 淵田・秋吉: 第8回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.2079~2084, 1990. 9) 栗林・川島・他: 土木研究所資料, 第1193号, p.27, 1977.