

Temel zemin etkileşmesi; oturma ve yapı hasarı

Foundation soil interaction; settlement and structural damage

Altay Birand

Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye

ÖZET: Organik zeminlerin varlığı dışında yapı hasarında genelde etkin olan oturma, elastik oturma ve konsolidasyon oturması olarak iki bileşenden oluşur. Elastik oturma, ani oturma olarak da tanımlanır ve yapım süresince yapı yükü zemine intikal ederken oluşur. Konsolidasyon oturması ise, tamamlanması uzun zaman alan bir süreçtir. Yapıda yapısal hasar oluşturan oturma, bu iki elemanın toplamından meydana gelir. Özellikle ön yüklenmeye maruz kalmış zeminlerde elastik oturma, toplam oturmanın önemli bir kısmını kapsar. Bu nedenle her iki oturma bileşeninin büyüklüğünün saptanması yapının rijitliğine ek olarak önem taşır. Bu tebliğde önce temelde yapı hasarı yaratabilecek olan hareketleri saptayabilmek için mevcut olan kriterlere ve limitlere ilişkin bilgiler sunulmakta, takiben 0.80 m kalınlığında, 32.4m ye 26.4m boyutlarındaki bir dikdörtgen radyenin Brown, Fraser-Wardle, "ayrık eleman" yöntemi kullanılarak hesaplanan oturma bileşenleri açıklanmakta, yukarıdaki bilgiler ışığında, hesaplanan toplam ve farklı oturmaların Yapı Hasarı oluşturma potansiyeli değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Elastik oturma, toplam oturma, yapı hasarı, oturma kriterleri

ABSTRACT: Settlement components are elastic and consolidation. The former is almost instantaneous whereas the latter is time dependent. Damage on structures occurs as a result of their combination. For preconsolidated soils elastic settlement is predominant. Thus it becomes relevant to determine their relative magnitudes. In this paper, the settlement criteria to cause damage is given and then an actual mat foundation is analyzed using different settlement methods. Cause of observed damage is then identified on the basis of the calculations and the criteria.

Keywords: Elastic settlement, total settlement, structural damage, settlement criteria

1 GİRİŞ

Bina temellerindeki yapı-zemin etkileşmesinde göz önüne alınması gereken bir olay zeminin oturma karakteridir. Organik zeminlerin varlığı dışında yapı hasarında genelde etkin olan oturma, elastik oturma ve konsolidasyon oturması olarak iki bileşenden oluşur. Elastik oturma, ani oturma olarak da tanımlanır ve yapım süresince yapı yükü zemine intikal ederken oluşur. Konsolidasyon oturması ise, tamamlanması uzun zaman alan bir süreçtir. Yapıda yapısal hasar oluşturan oturma, bu iki elemanın toplamından meydana gelir. Özellikle ön yüklenmeye maruz kalmış zeminlerde elastik oturma, toplam oturmanın önemli bir kısmını kapsar. Bu nedenle her iki oturma bileşeninin büyüklüğünün saptanması yapının rijitliğine ek olarak önem taşır. Bu tebliğde önce temelde yapı

hasarı yaratabilecek olan hareketleri saptayabilmek için mevcut olan kriterlere ve limitlere ilişkin bilgiler sunulmakta, takiben 0.80 m kalınlığında, 32.4m ye 26.4m boyutlarındaki bir büyük dikdörtgen radyenin Brown, Fraser-Wardle ve "ayrık eleman" yöntemi kullanılarak hesaplanan oturma bileşenleri açıklanmakta, yukarıdaki bilgiler ışığında, hesaplanan toplam ve farklı oturmaların Yapı Hasarı oluşturma potansiyeli değerlendirilmektedir.

2 ELASTİK OTURMA VE TOPLAM OTURMA BİLEŞENLERİ

Yarı çapı r olan ve q yayılı yükü taşıyan bir dairesel temel temelin merkezi altındaki oturma:

$$s_t = \frac{2(1-\nu')^2 qr}{G'} \quad (1)$$

olarak yazılabilir.(Timoshenko ve Goodier,1951). Burada s_t =Toplam Oturma, G = Zeminin Toplam Gerilmelere göre Kayma Modülü= G' = Zeminin Efektif Kayma Modülü, ν =Total Gerilmelere Göre Poisson Oranı, ν' =Efektif Poisson Oranıdır. Diğer yandan dairesel temelin merkezi altındaki elastik oturma şöyle verilir:

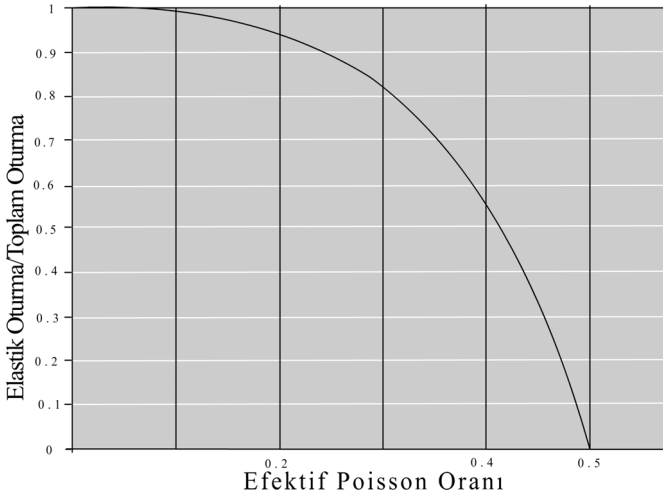
$$s_e = \frac{(1-\nu)qr}{G} \quad (2)$$

$\nu=0.5$ olarak alınır. (2) ve (1) oranlandığında:

$$\frac{s_e}{s_t} = \frac{1}{2(1-\nu)} \quad (3)$$

bağıntısına varılır. Bu ilişki Şekil 1'de sunulmuştur.

Ön yüklenmiş zeminlerde Efektif Poisson Oranı ν_s , genellikle $\nu_s < 0.3$ olup minimum değeri 0.1 dir (Charles,1976). Efektif Poisson oranının pek çok ön yüklenmiş zeminde 0.3 den daha düşük olduğu bilinmektedir Charles,1976).



Şekil 1. Oturma bileşenlerinin oranı

3 PROBLEMİN SUNUMU

Sekiz katlı bir binayı taşıyan 0.80 m kalınlığında, 32.4 metre x 26.4 metre boyutlarındaki bir betonarme dikdörtgen radyenin oturma bileşenleri, değişik yöntemlerle hesaplanacaktır.Bu bina en üst kata yükselirken çatlaklar oluşmuştur. Binanın üst yapı rijitliği açısından bir değerlendirilmesi yapılarak rijit elemanların yeterli olmadığı saptanmış ve çatlak oluşmasını açıklamak için

yapılacak olan hesaplarda salt radye rijitliğinin kullanılmasının uygun olduğu görüşüne varılmıştır.Radyenin 0.08 MN/m² yayılı yük taşıdığı kabul edilmiştir.

4 RADYE VE ZEMİNİN ÖZELİKLERİ

Radyenin Özellikleri:

E_r =Radyenin Elastik Modülü, 25×10^3 MN/m²

t =Radyenin Kalınlığı, m

r =Eşdeğer dairesel radyenin yarıçapı, $r=16.5$ m

q =Radye yükü MN/m²

Zeminin Özellikleri:

ν_s =Toplam gerilmelere göre Poisson Oranı=0.50,

ν' =Efektif gerilmelere göre Poisson Oranı=0.10 ,

E = Toplam gerilmelere göre Elastik Modül =55.0

MN/m², E' = Efektif gerilmelere göre Elastik

Modül =40.0 MN/m², Ön yüklenme oranı= 3.0

5 HESAP YÖNTEMİ

Radyenin ve zeminin yukarıdaki özellikleri kullanılarak değişik yöntemlerle oturma hesapları yapılmıştır. Bunlar aşağıda sunulmaktadır.

5.1 Brown Yöntemi

Bu yöntemde dikdörtgen radye, aynı alanı kapsayan bir eşdeğer daire radyeye dönüştürülmüştür.Bu suretle hesaplanan radye yarı çapı $r=16.5$ m dir. Brown (1969) uyarınca elastik oturma hesabı için Radye-Zemin Etkileşiminde kullanılan Rijitlik parametresi:

$$K = \frac{E_r}{E_z} (1 - \nu_z^2) \frac{t}{r} \quad (5)$$

Bu yöntemle yapılacak olan hesaplarda ν_z , zeminin Poisson oranı ve E_z , zeminin Elastik modülü olup, efektif ve toplam parametreler kullanıldığında yukarıda verilmiş olan değerlerden geçerli olan değeri alırlar.

Bu çalışma, $K \leq 0.08$ olması halinde radyenin esnek, $K \geq 5.0$ olması halinde ise rijit olduğunu söylemektedir. Radyenin rijitliği; farklı oturma miktarlarını etkileyen bir yapı-zemin etkileşme parametresi olarak ortaya çıkmaktadır. Esnek radyelerde radye altındaki temas basıncı miktarı eşit bir dağılım gösterir. Oturma dağılımı ise farklı oturma gösterir. Aksi halde oturma dağılımı eşit miktarda olmakla beraber temas basıncı dağılımı eşit olmaz ve radye altındaki zeminin özeliğine

göre üniform olmayan bir dağılım şekli gösterir. Rijitlik parametresi (K) kullanılarak ilgili abaklara girildiğinde eşdeğer radyenin merkezindeki oturma oturma hesabında kullanılacak olan tesir katsayıları bulunur. Bu katsayılar ile yukarıda açıklanan toplam ve efektif zemin özellikleri, aşağıdaki (6) bağıntısında yerlerine konularak oturma değerleri (s) hesaplanır.

$$s = qr \frac{1 - \nu^2}{E} I \quad (6)$$

Merkez ile çevre arasındaki farklı oturma değerleri (Δ) ise ilgili abağa $\log_{10}K$ değeri ile girilerek bulunacak olan değerin (m) aşağıdaki bağıntıda kullanılması ile saptanır:

$$m = \frac{\Delta x E_z}{(1 - \nu_z^2) qr} \quad (7)$$

Bu yöntemle ait hesap sonuçları Tablo1'de görülmektedir.

Tablo 1. Hesap sonuçları. (Oturma (mm) dir.)

	m	(K)	s_e	(s_t)	(Δ)	(Δ')
E_u, ν_u	0.65	0.039	36.0		11.7	
E'_z, ν'_z	0.59	0.060		64.0		19.3

Rijitlik sayısı K; radyenin "esnek" olduğunu göstermektedir. Bu, farklı oturmanın önem kazandığını gösterir. Elastik Oturmanın Toplam Oturmaya oranı 0.56 olmaktadır. (3) bağıntısına göre de bu oran 0.56 olarak hesaplanmaktadır. Bu durumda, yapının yükselmesi ile beraber oturmaların büyük kısmı oluşacak ve yapıda beklene mimari hasar belireceği gibi yapısal hasarın oluşması da kendini gösterebilecektir.

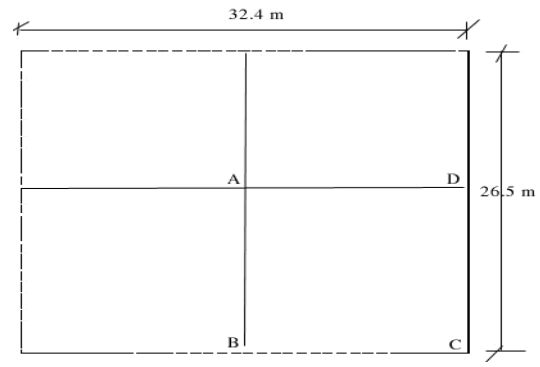
5.2 Hudson ve Shephard Yöntemi

Hudson ve Shephard (1999) bir radyenin merkezindeki oturma miktarları ile merkez-köşeler arasındaki farklı oturma miktarlarını hesaplamak için bir yöntem önermiştir. Radye ve adı geçen köşeler Şekil 2'de sunulmuştur.

Hesaplarda kullanılan bağıntılar aşağıda verilmektedir:

$$K_N = \frac{4 E_r (1 - \nu_z^2) t^3}{3 E_z B^3} \quad (8)$$

$$s = qB \frac{1 - \nu^2}{E} I \quad (9)$$



Şekil 2. Radye ve hesap noktaları

Bu yöntemle yapılacak olan hesaplarda ν_z =Zeminin Poisson oranı ve E_z zeminin Elastik modülü olup, efektif ve toplam parametreler kullanıldığında yukarıda verilmiş olan değerlerden geçerli olan değeri alırlar. B dikdörtgenin kısa kenarı, I merkezdeki oturma için, I_{ij} ise noktalar arasındaki farklı oturmaları; ilgili noktaları alt indis olarak temsil eden farklı oturma için kullanılan tesir katsayısıdır. Tesir katsayısı K_N , bu amaçla hazırlanmış olan abaklardan elde edilir. Radye geometrisinin ve rijitlik katsayısının fonksiyonudur. q radyenin taşıdığı yük ve t radye kalınlığıdır.

Tablo 2. Fraser ve Wardle'a göre oturma durumu

I	s_e	s_t	Δ (mm)		Δ/L	
			Elas.	Top.	Elas.	Top.
$I_A = 1.5$	43.0	79.0				
$I_{AB} = 0.38$			11.0	20	0.8	1.5
$I_{AD} = 0.54$			15.6	28	0.9	1.7

Elastik oturmanın toplam oturmaya oranı 0.54 olmaktadır. Bu oran ve oturma miktarları yukarıda hesaplanan değerlerle uyumlu görülmektedir. Bu sonuç, dikdörtgen radyenin eşdeğer radyeye çevrilerek yapılan hesabın, kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

5.3 Ayrık Elastik Eleman Yöntemi

Agarwal ve Hudson (1970)'de "Elastik zemine oturan bir prizmatik elastik dikdörtgen şeklindeki cisime etkiyen bir nokta yükün yakınındaki düşey oturma, radyenin her iki yöndeki boyutlarının bir Elastik Uzunluğun (l_s) üç katından fazla olması durumunda radyenin boyutlarından etkilenmez" demektedir.

Elastik uzunluk l_s şöyle tanımlanmaktadır:

$$l_s = \left[\frac{E_r t^3}{12(1-\nu_r^2)k_r} \right]^{0.25} \quad (10)$$

ν_r =Radyenin Poisson Oranıdır ve k_r aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$k_r = \frac{4G_z r_0}{1-\nu_z} \quad (11)$$

G_z =zeminin kayma modülü ν_z Poisson Oranıdır. R_0 şöyle tanımlanır:

$$r_0 = 0.8t \left[\frac{E_r}{G_z} \frac{1-\nu_z}{1-\nu_r^2} \right]^{0.33} \quad (12)$$

Yukarıda z indisi taşıyan elemanlar için açıklandığı gibi gereken hallerde toplam veya efektif değerler kullanılır. Hesap sonuçları Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3. Hesap sonuçları

r_0 (m)	r'_0 (m)	k_r (MN/m)	k'_r (MN/m)
6.19	7.52	906.2	1100.9
l_s (m)	l'_s (m)	k_z (MN/m)	k'_z (MN/m)
1.11	1.18	2415.6	1342.0

Buradan gerçek radyenin oturma miktarının hesabı için kullanılacak modüller (11) ile şöyle bulunur:

$$k_{ZE} = \frac{4 \times 18.3 \times 16.5}{1-0.5} = 31.17 \text{ MN/m} \quad \text{ve}$$

$$k'_{ZE} = \frac{4 \times 18.3 \times 16.5}{1-0.1} = 19.5 \text{ MN/m}$$

$$\text{Elastik Oturma} = \frac{9l_s^2}{k_{ZE}} = \frac{11.8 \times 0.08}{31.17} = 0.028 \text{ m}$$

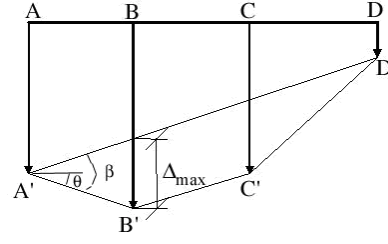
ya da 28.0 mm

$$\text{Toplam Oturma} = \frac{9l_s^2}{k'_{ZE}} = \frac{12.53 \times 0.08}{19.5} = 0.051 \text{ m}$$

ya da 51.0 mm

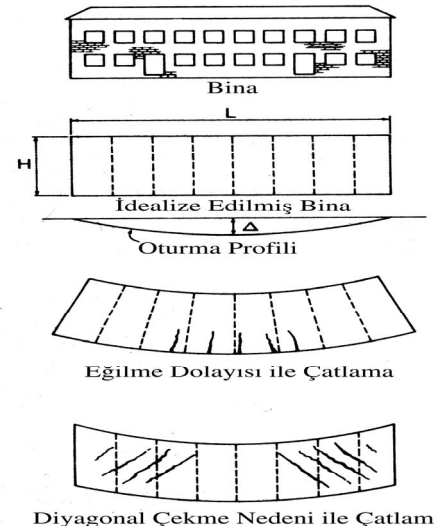
Bu sonuçlar ilk hesap yöntemi ile elde edilenlere daha yakındır. Scott (1981), β ile tanımladığı ve $3l_s$ değerine eşit olan Elastik Uzunluk hesabı için benzer bağıntılar önermektedir.

Şekil 3'te AD temelinin ABCD noktalarının A', B', C', D' noktalarına oturması ile oluşan durum görülmektedir.



Şekil 3. Göreceli oturma

Bu şekilde Δ ; farklı oturmayı, L_{AD} temel uzunluğunu göstermek üzere Δ/L_{AD} oturma oranını temsil eder. BB' maksimum oturmayı (S_{max}) gösterir. θ açısı dönme ve β açısı açılmal çarpılmayı işaret eden sembollerdir. Bir yapıda oluşacak hasar, bu değerlerin belli sınırlara ulaşması sonucu oluşur. Bu konuda Skempton ve McDonald'ın (1956) çalışması, öncü niteliğinde görülebilir. Bu çalışmada mimari hasar (bir binada duvar ve bölmelerde çatlama vb) görülmesi için $1/300$ açılmal çarpılma sınırı öngörülmüş ve bu özeliğin hiçbir zaman $1/500$ 'ü geçmemesi önerilmiştir. Yapısal hasarın (kolon ve kirişlerde, yapının taşıyıcı elemanlarına sirayet eden çatlamlar) oluşması için aynı değer $1/150$ olarak verilmiştir. Polshin ve Tokar (1957), yukarıda tanımlanan Δ/L , β ve ortalama oturma kriterlerini teklif etmiştir. Bu çalışmada içi dolu çerçeve çelik ve beton yapılar için $\beta=1/500$ ila $1/200$ değerleri önerilmiş olup bu değerler Skempton ve McDonald'ın önerisi ile uyumludur.



Şekil 4. Basit kirişte eğilme ve kesme sonucu çatlama

6 İZİN VERİLEBİLİR HAREKET SINIRLARI

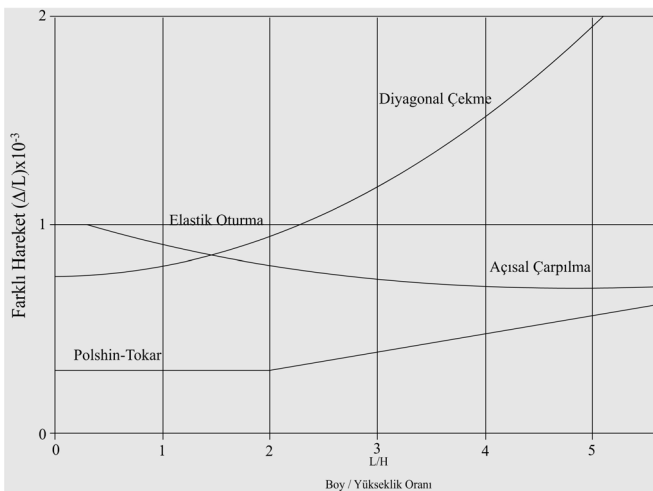
Bu görüşlere ek olarak Burland ve Wroth (1974) konunun sınır streyn açısından ele alınmasını önermişlerdir. Bu öneride araştırmacılar Polshin ve Tokar'ın (1957) çalışmasını göz önüne alarak binayı kiriş olarak düşünmüş ve bu kirişin kesidinin en ucundaki diyagonal kesme ve eğilme momenti nedeni ile kesme halleri için 0.075 sınır streyni kullanarak bu iki hal için hesap yapmışlardır. Bu görüş Şekil 4'de sunulmaktadır.

Bu kriterin ilginç bir yönü; bina yüksekliğinin de hesaba alınmasıdır. Bu yaklaşım sonucunda elde edilmiş olan kriterler aşağıda gösterilmiştir. Açısız çarpılma kriteri aynı zamanda 1/150 kriteri ile çakışmaktadır.

Bu kriterin $L/H > 1.5$ sınırından sonra etkin olduğu ve giderek Polshin-Tokar kriterine yaklaştığı gözlenmektedir. Polshin-Tokar kriteri aslında yığma duvarlar için önerilmiş olmakla beraber, kimi çerçeve yapılarda da geçerliliği kanıtlanmış bulunmaktadır.

7 GÖZLENEN ÇATLAKLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fraser ve Wardle yöntemi uyarınca yapılan hesaplarda elde edilen elastik oturma miktarlarına bağlı göreceli hareket sonucu Şekil 5'de görülmektedir. (Elastik Oturma) Toplam oturmanın ise bu miktarın 2 katı kadar olduğu yukarıda hesaplanmış idi. Oturma miktarı, sınırların ötesindedir. Binanın yapılırken hasar görmeye başlaması; hasarın daha çok elastik oturma hareketine bağlı olduğunu açıklamakta ve bu aşamada binanın takviye yolu ile rijitliğinin arttırılmasının ileride daha ileri çatlama oluşmaması açısından olumlu etkisini açıklamaktadır.



Şekil 5. Değişik kriterlere göre oturma sınırları

8 SONUÇLAR

Arazide gözlenmiş olan bir olay analiz edilmiş ve aşağıdaki noktalar üzerinde durulmuştur:

- Temellerde farklı oturmalar nedeni ile meydana gelen değişik mekanizmalar sonucunda oluşabilecek göreceli oturma türlerinin hasara yol açması için gerekli sınırlar gözden geçirilmiştir.
- Örneğe temel-zemin etkileşmesi ile oluşan toplam oturma ve farklı oturmaların hesaplanması için kimi değişik yöntemler uygulanmış, buradan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak bunların kabul edilebilir mertebelerde yakın oldukları gözlenmiştir.
- Ön yüklenmiş zeminlerde elastik oturma miktarlarının toplam oturma miktarının önemli bir kısmını oluşturduğu, bu nedenle saptanmıştır. Bu nedenle elastik oturma hesabının yapılarak sınır oturma kriterleri uygulandığında yapı rijitliğinin yetersiz olması halinde ortaya çıkabilecek olumsuzlukların ortadan kaldırılabileceği görülmektedir.
- Literatürdeki izin verilebilir farklı oturma tanımları ile bu tanımlara ait sınırlar gözden geçirilmiş, örnek olaydaki hesap sonuçlarının bu sınırların aşıldığını göstermesi, yapıda gözlenen hasarın nedenini belirlemiştir.

REFERANSLAR

- Brown, P.T. 1969. Numerical analysis of uniformly uoaded circular rafts on deep elastic foundations. *Geotechnique*, 19 3, pp 399-404
- Burland, C.P. and Wroth C.P. 1974. Settlement of buildings and associated damage. *State of the Art Rewiev. Proc. Conf of Settlement*, Cambridge Pantech Press London pp 351-578
- Charles, J.A. 1976. The use of one dimensional compression tests and elastic theory in predicting deformations in rockfill embankments. *Canadian Geotechnical Journal* 13, 3, pp 189-200
- Fraser, R.A. and Wardle, L.J. 1976. Numerical analysis of rectangular rafts on layered foundations. *Geotechnique*, vol 26, no 4, pp 530- 613
- Hudson J.B. and Shephard. M.S. 1999. Computer methods in applied mechanics & engineering 23,3, 263 *Prediction of elastic settlement of rectangular raft foundation.*
- Palmer, L.A. and Barber, E.S. 1940. Soil displacement under a circular loaded area. *Proc. Highway Research Board*, vol 20, pp 279-286; 319,332.
- Polshin, D.E. and Tokar R.A. 1957. Maximum allowable non uniform settlement of structures. *Proc. 4th Inter. Conf. SMFE*, vol 1, p 402.
- Scott, R.F. Foundation engineering *Balkema*. 1980
- Skempton A.W. and MacDonald D.H. 1956. Allowable settlement of buildings *Proc. Inst. Of Civil Engineers*, Part 3 vol 5 pp 727-768.

